



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# VYUŽITÍ R-MATERIÁLU V ASFALTOVÝCH SMĚSÍCH S POJIVEM TYPU PMB

USE OF R-MATERIAL IN ASPHALT MIXTURES WITH PMB TYPE BINDER

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavlína Navrátilová

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Pavlína Navrátilová
Název	Využití R-materiálu v asfaltových směsích s pojivem typu PMB
Vedoucí práce	doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2020
Datum odevzdání	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

---

doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

Předané vzorky materiálů

Specifikační norma ČSN EN 13108-1 a ČSN 73 6121

Návrh nových národních požadavků na směsi typu AC

Zkušební normy řady ČSN EN 12697

Literatura z internetu

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

V rámci diplomové práce bude hodnocen vliv různého dávkování R-materiálu obsahujícího nemodifikovaný asfalt na vlastnosti asfaltového betonu pro obrusné vrstvy (ACO 11+) stmeleného polymerem modifikovaným asfaltem. Vlastnosti asfaltových směsí budou hodnoceny pomocí zkoušky modulu tuhosti a zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem.

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na využití R-materiálu v asfaltových směsích s pojivem typu PMB. Práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou část. V teoretické části je popsáno získávání R-materiálu pomocí frézování vozovek, použití R-materiálu, pojivo použité v praktické části práce a typy recyklací. Praktická část se zabývá návrhem čtyřmi druhy asfaltových směsí s různým obsahem R-materiálu v asfaltové směsi. Dále se zabývá popisem funkčních zkoušek asfaltových směsí a výsledky těchto zkoušek.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Asfaltová směs, asfaltové pojivo, asfaltový beton, kamenivo, R-materiál, frézování vozovek, druhy recyklace, funkční zkoušky asfaltových směsí

## **ABSTRACT**

The diploma thesis is focused on the use of R-material in asphalt mixtures with a PMB type binder. The work is divided into a theoretical part and a practical part. The theoretical part describes the acquisition of R-material by road milling, the use of R-material, the binder used in the practical part of the work and the types of recycling. The practical part deals with the design of four types of asphalt mixtures with different content of R-material in the asphalt mixture. It also deals with the description of functional tests of asphalt mixtures and the results of these tests.

## **KEYWORDS**

Asphalt mixture, asphalt binder, asphalt concrete, aggregates, R-material, road milling, types of recycling, functional tests of asphalt mixtures

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Pavlína Navrátilová *Využití R-materiálu v asfaltových směsích s pojivem typu PMB*. Brno, 2020. 67 s., 23 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Využití R-materiálu v asfaltových směsích s pojivem typu PMB* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 14. 1. 2021

---

Bc. Pavlína Navrátilová  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Využití R-materiálu v asfaltových směsích s pojivem typu PMB* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14. 1. 2021

---

Bc. Pavlína Navrátilová  
autor práce

## Poděkování

Děkuji vedoucímu mé práce Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D. za výborné vedení při zpracovávání této práce v tuto ne příliš vhodnou dobu při nouzových stavech. Také za pomoc při zpracování této práce v laboratoři pozemních komunikací. Ráda bych tímto poděkovala i ostatním zaměstnancům laboratoře pozemní komunikace, kteří mi pomáhali s praktickou částí diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat firmě Froněk, spol. s r.o., která mi poskytla potřebný materiál na zpracování této práce.

V neposlední řadě patří mé děkuji mé rodině, která mě podporovala jak peněžitě, tak i psychicky po celou dobu mého studia.

# Obsah

1. Úvod.....	10
2. Teoretická část .....	11
2.1. Frézování vozovek .....	11
2.2. R-materiál.....	12
2.2.1. Použití R-materiálu.....	12
2.2.2. Požadavky na R-materiál.....	14
2.2.2.1. Asfaltové pojivo.....	14
2.3. Polymerem modifikovaný afalt.....	15
2.4. Asfaltová směs.....	16
2.4.1. Asfaltový beton AC.....	16
2.5. Rejuvenace pojiva.....	17
2.6. Druhy recyklací .....	18
2.6.1. Recyklace za studena na místě .....	18
2.6.2. Recyklace na místě za horka .....	19
2.6.2.1. Regrip.....	20
2.6.2.2. Reshape.....	20
2.6.2.3. Repave .....	20
2.6.2.4. Remix.....	20
2.6.2.5. Remix Plus.....	20
2.6.3. Recyklace v míchacím centru za studena.....	21
2.6.4. Recyklace v obalovně za horka .....	21
2.6.4.1. Dávkování studeného R-materiálu přímo do míchačky .....	22
2.6.4.2. R - materiál předeříván v paralelním bubnu .....	23
2.6.4.3. Metoda Drum - mix.....	25
3. Cíl práce.....	28
4. Praktická část .....	29
4.1. Použité materiály.....	29
4.1.1. Kamenivo .....	29
4.1.2. Asfaltové pojivo .....	30
4.1.3. Asfaltová směs .....	30
4.2. Příprava vzorků.....	32
4.2.1. Zhutňování desek.....	32



4.2.2.	Řezání.....	34
4.2.3.	Lepení vzorků .....	34
4.2.4.	Stanovení modulu tuhosti dle ČSN EN 12697-26 .....	36
4.2.4.1.	Zkušební pomůcky.....	36
4.2.4.2.	Postup zkoušky .....	38
4.2.4.3.	Výpočet .....	39
4.2.5.	Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem dle ČSN EN 12697-46.....	40
4.2.5.1.	Zkušební pomůcky.....	41
4.2.5.2.	Postup zkoušky .....	42
4.2.5.3.	Vyhodnocení zkoušky.....	44
4.3.	Výsledky .....	44
4.3.1.	Stanovení modulu tuhosti.....	45
4.3.1.1.	Naměřené hodnoty .....	45
4.3.1.1.1.	Měření modulů tuhosti při teplotě 0 °C.....	45
4.3.1.1.2.	Měření modulů tuhosti při teplotě 15 °C.....	47
4.3.1.2.	Vyhodnocení zkoušky modulu tuhosti.....	49
4.3.2.	Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem .....	51
4.3.2.1.	Naměřené hodnoty .....	51
4.3.2.1.1.	Asfaltová směs s 0 % obsahem R-materiálu .....	52
4.3.2.1.2.	Asfaltová směs s 15 % obsahem R-materiálu .....	53
4.3.2.1.3.	Asfaltová směs s 30 % obsahem R-materiálu .....	54
4.3.2.1.4.	Asfaltová směs s 50 % obsahem R-materiálu .....	55
4.3.2.1.5.	Vyhodnocení nízkoteplotních vlastností.....	56
5.	Závěr .....	59
6.	Literatura.....	60
7.	Seznam obrázků .....	62
8.	Seznam grafů .....	64
9.	Seznam tabulek .....	65
10.	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	66
11.	Přílohy .....	67

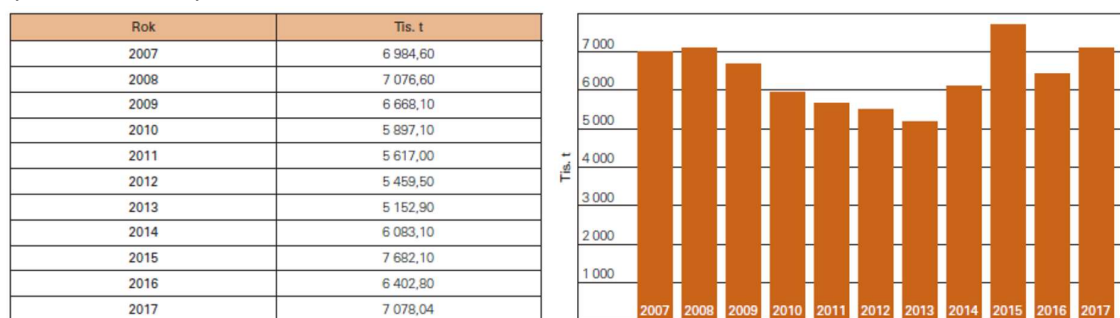
# 1. Úvod

V důsledku stále větší poptávky po novém kvalitním materiálu, jehož množství je omezené, se v dnešní době více vyskytuje využívání recyklovaných materiálů. Využití recyklovaných materiálů se již využívá ve většině odvětví.

Proces znovuvyužití surovin se nazývá recyklace. Název pochází z anglického slova recycling – opětovné použití. [1]

V silničním stavitelství se zachází s vysokými objemy používaných hmot, s jejich přemístováním, ukládáním a těžením. Při budování pozemních komunikací je snahou zabudovat různé materiály, které se vyskytují ve velkých objemech a mohou mít další využití. [2]

V současné době, silniční síť v České republice mají souhrnnou délku přibližně 55 000 km. Ze statistiky, kterou zpracovává každý rok Sdružení pro výstavbu silnic vyplývá, že v případě asfaltových směsí dosahuje v České republice aktuální roční objem výroby (pro rok 2017) přes 7 milionů tun. [19]



Graf 1: Vývoj objemu výroby asfaltových směsí v ČR od roku 2007 až do roku 2017 [19]

Při rekonstrukcích dopravních staveb je trendem především materiál, který je odebrán, také vylepšit a znovu použít. Cílem je zabránit, aby materiály byly považovány za odpad a mohly se nadále používat jako recyklovaný materiál. [2]

Důvodů pro recyklaci je hned několik. Zachování materiálů (kamenivo, asfalt) a energetických zdrojů (topná média, pohonné hmoty), ochrana životního prostředí (redukce skleníkových plynů a CO<sub>2</sub>, redukce hluku, omezení skládek) a ekonomický přínos (snížení nákladů, zatížení komunikace a zkrácení doby výstavby). Vysoký tlak na recyklaci asfaltových materiálů je kvůli stále se vyvyšující ceně ropy. [3]

## 2. Teoretická část

### 2.1. Frézování vozovek

Je stavební činnost, která se zaměřuje na odstranění stanovené tloušťky konstrukční vrstvy vozovky nebo stanovených ploch. Práce jsou prováděny silničními frézami, jejichž frézovací bubny jsou osazeny frézovacími hroty.

Hloubka frézování je od 0–350 mm a závisí na výkonu motoru silniční frézy a tvrdosti materiálu.

Při frézování je dodržována tloušťka frézování, stanovený příčný sklon frézované plochy a srovnání podélných nerovností. [8]

Vyskytují se čtyři druhy silničních fréz:

- Malé – odfrézování do hloubky méně než 100 mm, šířka frézovacího válce do 500 mm
- Střední – odfrézování do hloubky až 180 mm, šířka frézovacího válce od 500 mm až 1000 mm
- Velké – odfrézování do hloubky až 350 mm, šířka frézovacího válce nad 1000 mm
- Speciální – záběrová hloubka až 100 mm, šířka frézovacího válce až 350 mm. Využívá se pro sanační práce a na poškozené krytové vrstvy v blízkosti kanalizačních poklopů, rigolů, uličních vpustí. [13]



Obr. 1 Silniční fréza Wirtgen 2000/2400 [9]

Uplatnění frézování: [14]

- vozovky, u které skončila životnost obrusné vrstvy,
- na místních komunikacích, kde není možná změna nivelety na návaznost jiných objektů (chodníky, odvodnění),
- na mostních objektech, aby se nezvyšovalo stálé zatížení, tak nelze na mostní objekty klást další asfaltové vrstvy,
- na úpravu příčného profilu po odstranění menších nerovností a deformací nepřevyšující 10 mm,
- pro obnovu drsnosti vozovky-jde o provizorní způsobilost před úplnou opravou vozovky.

## **2.2. R-materiál**

Dle normy ČSN EN 13108-8 ed. 2 se R-materiál (Reclaimed Asphalt – RA) označuje zkratkou RA a zrnitostí kameniva v milimetrech získaných při extrakci asfaltového pojiva z R-materiálu.

Znovuzískaná asfaltová směs určená k recyklaci formou odfrézování nebo vybouráním asfaltových vrstev pozemních komunikací, dopravních ploch při opravách a rekonstrukcích. Dále z neshodné či přebývající výroby asfaltových směsí. [16]

### **2.2.1. Použití R-materiálu**

Použití R-materiálu je závislé na druhu směsi, ze které byl R-materiál získán.

Množství dávkovaného R-materiálu musí být uvedeno ve zkoušce typu vyráběné asfaltové směsi. Návrh složené asfaltové směsi je nutno provést stanovení optimálního dávkování R-materiálu do nově vyráběné směsi. Je možné využít uvedený obrázek číslo 2.

Z důvodů dosažení shodnosti homogenity asfaltové směsi při zkoušce typu a kontrolních zkouškách je pro zkoušky typu především preferován způsob ověření ve výrobě. [16]

Tabulka 1 – Možnosti přidání upraveného R-materiálu do nově vyráběných směsí [16]

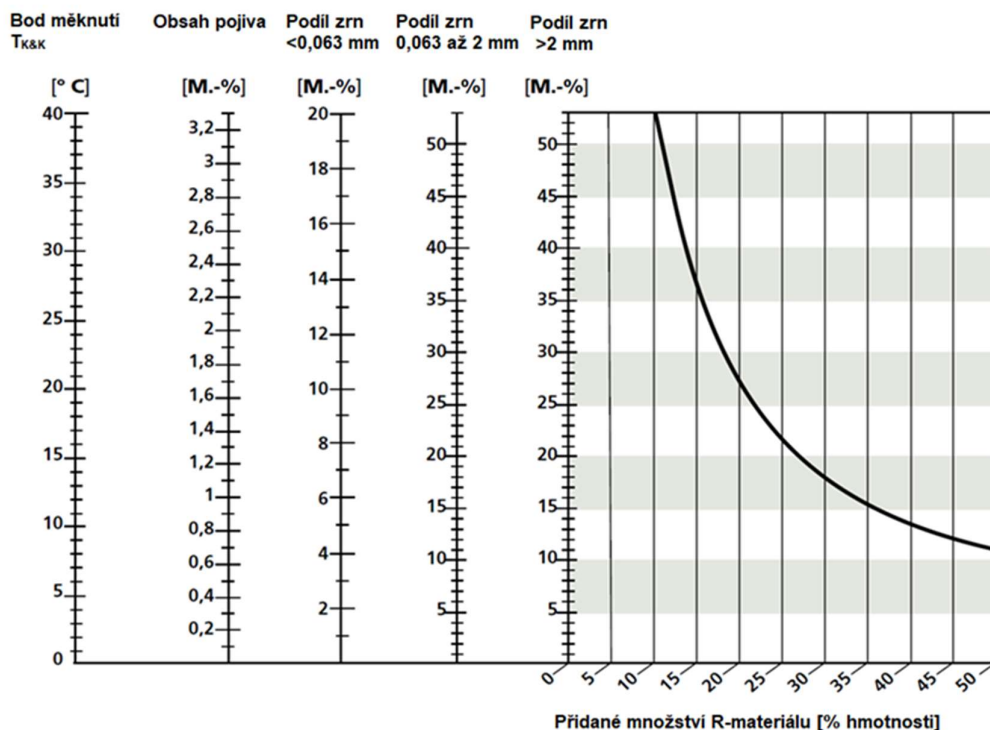
R-materiál získaný z:	Použití do nově vyráběných směsí pro:			
	Litý asfalt	Asfaltová ohrusná vrstva	Asfaltová ložní vrstva	Asfaltová podkladní vrstva
Litého asfaltu	ANO	NE	NE	NE
Asfaltové ohrusné vrstvy <sup>a</sup>	ANO	ANO	ANO	ANO
Asfaltové ohrusné a ložní vrstvy	ANO	NE <sup>b c</sup>	ANO	ANO
Asfaltové ohrusné a ložní vrstvy s modifikovaným pojivem	ANO	ANO <sup>c</sup>	ANO	ANO
Asfaltové ložní vrstvy <sup>a</sup>	NE	NE <sup>b</sup>	ANO	ANO
Asfaltové podkladní vrstvy <sup>a</sup>	NE	NE	NE <sup>b</sup>	ANO
Asfaltové ohrusné, ložní a podkladní vrstvy – neselektivní frézování	NE	NE	NE <sup>b</sup>	ANO

<sup>a</sup> Jedná se o materiál selektivně vyfrézovaný a po přetřídění a předrcení skladovaný vždy jako samostatný R-materiál podle článků 8.1 a 8.4.

<sup>b</sup> Platí při použití směsi pro komunikace kategorie D a silnice I. třídy. V ostatních případech platí „ANO“ s případným dalším zohledněním poznámky „c“.

<sup>c</sup> Varianta „ANO“ platí pouze v případě dávkování R-materiálu v množství do 30 % včetně.

Dávkování maximální možností upraveného R-materiálu do nově vyráběných asfaltových směsí se řídí požadavky, uvedenými v příslušných přílohách ČSN 73 6121 ke specifikačním normám pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13108 a ČSN 73 6122. [16]



Obr. 2 Nomogram pro zjištění maximálně možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi pro asfaltové obrusné a ložní vrstvy [16]

## 2.2.2. Požadavky na R-materiál

Materiál musí splňovat požadavky zvláště na vlastnosti zestárlého asfaltového pojiva, kameniva a znečišťujících látek stanovené dle ČSN EN 13108-8 ed. 2.

Pro nepředehřátý R-materiál na šaržově obalovně platí, že nesmí být hrubozrnější pro obrusné vrstvy vozovek více jak 16RA 0/11 a pro ložní a podkladní vrstvy vozovek nesmí být hrubozrnější více jak 32RA 0/22. [16]

### 2.2.2.1. Asfaltové pojivo

Druh asfaltového pojiva musí být zdokumentován a deklarován, jsou-li dostupné informace ze současných nebo dřívějších analýz a rozborů, nebo data dohledatelná v Silniční databance. Tato deklarace musí uvádět, zda je pojivem převážně silniční asfalt, polymerem modifikovaný asfalt, asfalt obsahující pryž, multigrádový asfalt nebo tvrdý silniční asfalt.

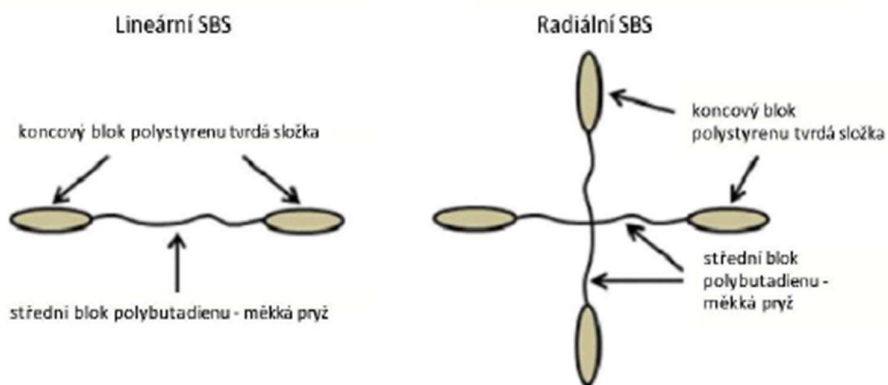
Průměrná hodnota penetrace a teploty bodu měknutí pojiva v R-materiálu musejí být deklarovány. [16]

### 2.3. Polymerem modifikovaný asfalt

Asfaltové pojivo je viskoelastický materiál, který za vyšších teplot je tekutý a měkký za nízkých teplot má vlastnosti tvrdé a křehké. Pro zlepšení odolnosti vůči trvalým deformacím a zlepšení nízkoteplotních vlastností se mohou použít modifikace. [15]

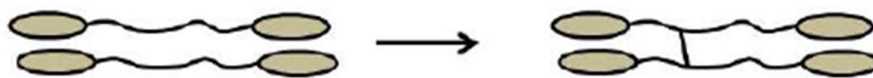
Polymerem modifikovaný asfalt je asfaltové pojivo, jehož reologické vlastnosti jsou při výrobě upravovány polymerem. Polymery dělíme dle charakteru deformace na plastomery a elastomery.

Nejčastěji používané elastomery k modifikaci patří styren-butadien-styren (SBS) neboli také označován jako termoplastický kaučuk. Především způsobuje nárůst tažnosti a zvýšení teploty bodu měknutí. V silničním stavitelství jsou hlavními typy použití lineární a rozvětvená (radiální) forma. Vždy je obsažen střední-blok polybutadienu ukončen koncovými-bloky polystyrenu. Sílu polymeru udává polystyren a butadien udává elasticitu.



Obr. 3 Lineární a rozvětvená (radiální) forma SBS [15]

Dalšími, v dnešní době příliš nepoužívanými elastomery, jsou styren-butadien (SBR). Nevýhodou těchto modifikátorů je náchylnost k vypadávání polymeru z modifikovaného asfaltu, proto je nutné pojiva během skladování míchat nebo přečerpávat. Pro zamezení k vypadávání polymeru je možné provést přidávkem síry, která je schopná vytvořit tzv. sírné můstky. Dochází k zesíťování pojiva.



Obr. 4 Zjednodušené zesíťování [15]

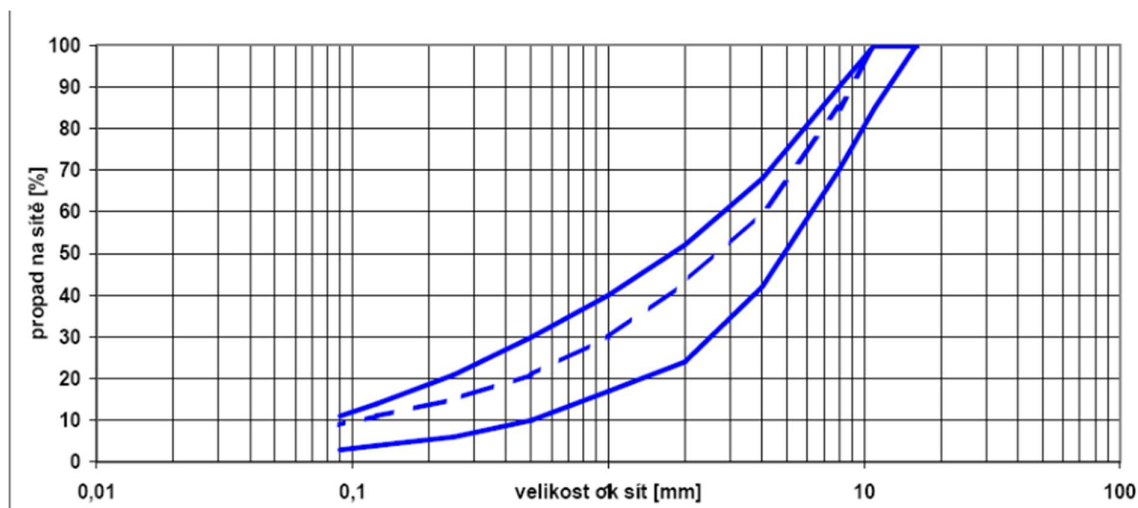
Vhodné plastomery pro modifikaci jsou například polypropylen (APP), polyetylen (PE), apod. [15]

## 2.4. Asfaltová směs

### 2.4.1. Asfaltový beton AC

Jde o nejvíce používaný druh asfaltové směsi, protože je používán pro obrusné, ložní a podkladní vrstvy krytu vozovky.

Jedná se o směs s plynulou čarou zrnitostí, tudíž je zde rovnoměrné zastoupení zrn kameniva různé velikost.



Obr. 5 Obor zrnitosti pro směs ACO 11+ a Fullerova parabola [10]

Existují tři druhy asfaltových betonů dle použití v konstrukčních vrstvách vozovek, a to na asfaltový beton pro obrusné vrstvy (ACO), asfaltový beton pro ložní vrstvy (ACL) a asfaltový beton pro podkladní vrstvy (ACP).

V těchto vrstvách směsi lze použít recyklovaný materiál, ale pouze z procentuální části asfaltové směsi uvedené níže v tabulce.

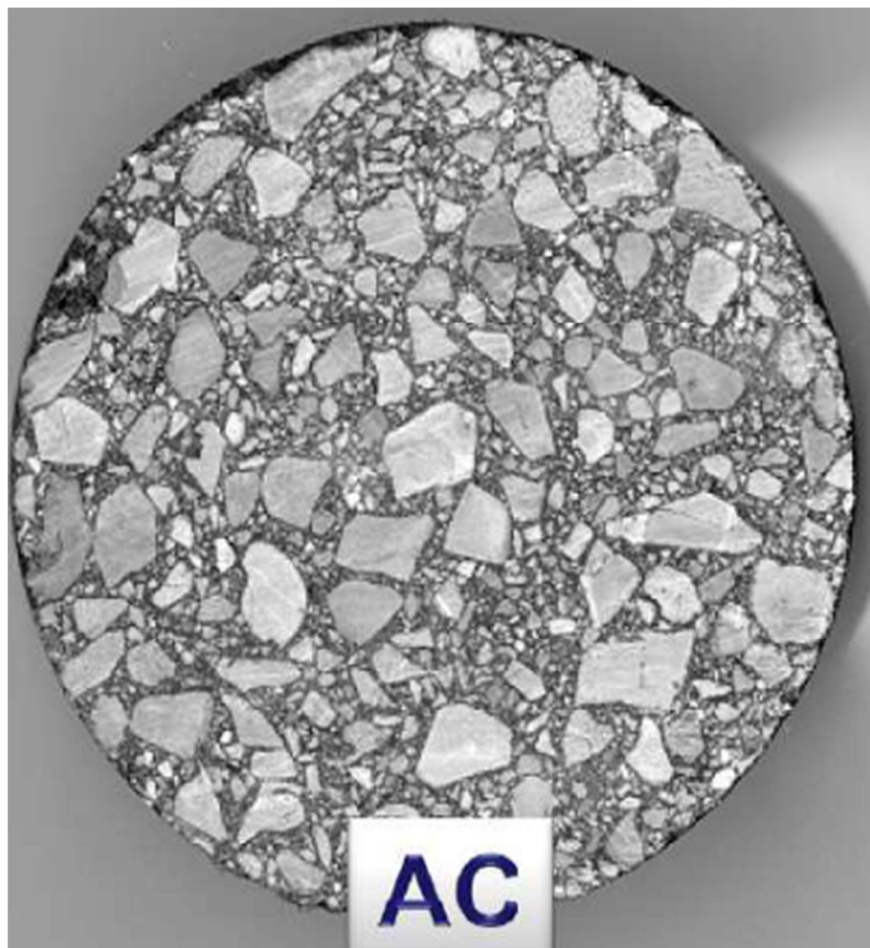
Tabulka 2 – Nejvyšší přístupný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi [10]

Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)
ACO 8	25	ACL 16 S	30/15	ACP 16 S	50
ACO 8 CH	25	ACL 16 +	30	ACP 16 +	60
ACO 11	25	ACL 16	40	ACP 22 S	50
ACO 16	25	ACL 22	30/15	ACP 22 +	60
		ACL 22 +	30		
		ACL 22	40		

Dále se asfaltové betony označují podle nejhrubší použité frakce kameniva D – velikost oka horního síta použité frakce. Směs pro obrusné vrstvy mají nejhrubší možnou



frakci 8 mm, 11 mm nebo 16 mm. Pro ložní vrstvy je nejhrubší možnou frakcí 16 mm nebo 22 mm a stejně tak je i pro podkladní vrstvu. Následné označení podle kvalitativních požadavků se symboly: S, +, CH, žádné. [10]



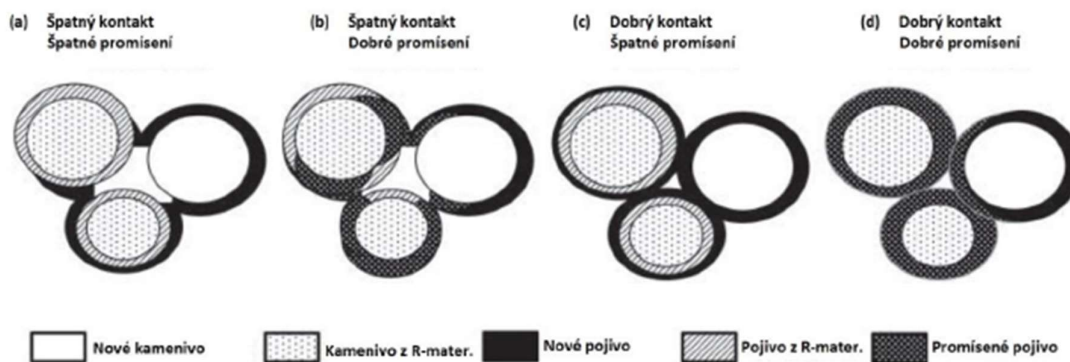
Obr. 6 Asfaltový beton - zkušební těleso [10]

## 2.5. Rejuvenace pojiva

Ve znovuzískané asfaltové směsi je obsaženo asfaltové pojivo, které již nemá stejné parametry jako původní dávkované pojivo. Tento proces se nazývá stárnutí pojiva. Asfaltová směs znovuzískaná je z technického hlediska tvrdší a křehčí.

Asfaltové pojivo je organickou sloučeninou, a tudíž podléhá během skladování, výroby asfaltové směsi a užití ve vozovce procesu stárnutí. Stárnutí je způsobeno vlivem působení vzdušného kyslíku, ultrafialového záření a zvýšené teploty.

Pokud bychom dávkovali R-materiál do nově vyráběné asfaltové směsi bez ošetření, od určitého množství R-materiálu bychom vybočili z deklarované gradace nově dávkovaného pojiva. [19]



Obr. 7 Schématické znázornění jednotlivých možností kontaktu zrn kameniva a promísení pojiv při přidávání R-materiálu do asfaltové směsi [19]

## 2.6. Druhy recyklací

Recyklace netuhých konstrukčních vrstev vozovky rozdělujeme na čtyři druhy. Recyklace za studena na místě, za horka na místě, v obalovně za studena a za horka. [5]

Technologie recyklace konstrukčních vrstev vozovek za studena je moderní a progresivní technologií dopravního stavitelství, která výrazně pomáhá zlepšit stav silnic v ČR. Tuto technologii můžeme dále rozlišovat podle způsobu výroby recyklované směsi na místě, nebo v míchacím centru. [11]

V ČR je prozatím rozhodnutí o přidání R-materiálu do nové asfaltové směsi ponecháno na výrobcí. Technické normy a další předpisy o přidání R-materiálu do nově vyráběných asfaltových směsí v určité míře a v určitém případě dovolují, ale nepřikazují jeho použití. [19]

### 2.6.1. Recyklace za studena na místě

První pokusy byly provedeny po druhé světové válce ve Velké Británii, v ČR se začala recyklace prosazovat po roce 1989. V současné době se nejvíce používá v USA, Německu nebo Španělsku.

Při recyklaci jsou používána pojiva, a to cement, cement s vápnem, asfaltové emulze nebo pěnoasfalt.

Recyklace je dále rozdělena podle hloubky provádění. Celková recyklace je do hloubky 120–250 mm, částečná recyklace maximálně do hloubky 120 mm. Pro kvalitativní zlepšení nezpevněných štěrkových vozovek se dostáváme do hloubek 100 mm až 150 mm. [4]

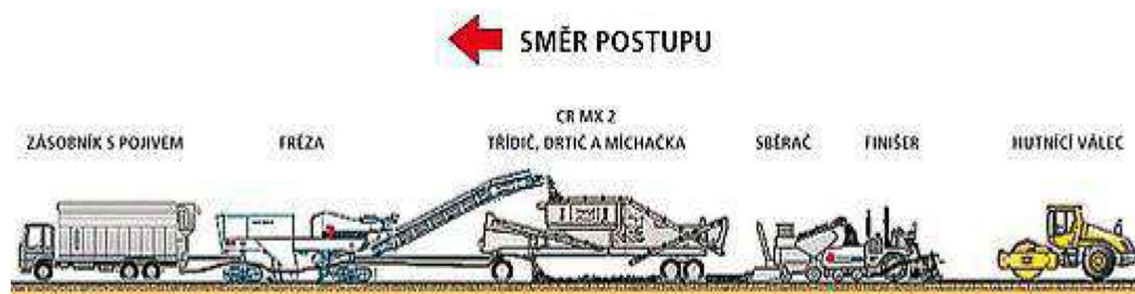
Celková recyklace se používá tam, kde je únosnost vozovky vyčerpána a vozovka je natolik porušena, že je nezbytná rekonstrukce více vrstev. Příznakem je výskyt síťových trhlin, často doprovázených čestnými výtlučky a plošnými deformacemi zejména ve stopách vozidel nebo při okrajích.

Částečná recyklace je vhodná v případě potřeby regenerace asfaltových vrstev. Příznakem je hloubková koroze povrchu, výtluky, mozaikové trhliny, trhliny na pracovních spárách, podélné a příčné trhliny nebo četné vysprávký. [15]

Recyklace za studena na místě je zjednodušeně řečeno technologický proces, kdy se při jednom pracovním cyklu rozpojí stávající konstrukční vrstvu, vzniklá směs se zlepšit potřebnými materiály a znovu položí na vozovku. Touto metodou lze od standardní metody rekonstrukce vozovek značně snížit finanční náklady a zkrátit dobu realizace. Recyklaci za studena na místě lze provést na většině vozovek s předem vypracovaným diagnostickým průzkumem v dostatečném rozsahu, který potvrzuje vhodnost využití této technologie pro rekonstrukci. [11]

Potřebné stroje: [13]

- Zásobník s pojivem.
- Recyklační fréza.
- Třídič, drtič a míchačka.
- Sběrač.
- Finišer.
- Hutnící válec.



Obrázek 8: Stroje na recyklaci na místě za studena [13]

### 2.6.2. Recyklace na místě za horka

Recyklaci za horka lze rozdělit do 5 kategorií. Rozlišujeme je podle následné funkčnosti ve znovu položené vrstvě. Používané pracovní stroje jsou infrazářiče na nahřátí stávající vozovky, remixer – rozpojení rozehřátého povrchu vozovky, finišer – předhutnění a rozložení vzniklé směsi a hutnící válce. [4]



Obr. 9 Remixer [6]

#### **2.6.2.1. Regrip**

Jedná se o technologii na zlepšení protismykových vlastností, kdy dochází k nahřátí stávajícího povrchu, následné podrcení kamenivem úzké frakce a zaválcování. [4]

#### **2.6.2.2. Reshape**

Technologie na úpravu příčného profilu vozovky, při kterém dochází k ohřátí stávajícího povrchu, následnému rozpojení a nakypření asfaltové směsi a opětovné položení směsi v příčném i podélném směru bez přidání dalších složek, zhutnění. [7]

#### **2.6.2.3. Repave**

Technologie úpravy příčného profilu vozovky s položením nové asfaltové vrstvy, která spočívá v ohřátí asfaltové směsi, rozpojení a nakypření směsi, urovnání rozpojené a nakypřené asfaltové směsi v příčném a podélném směru, položení nové asfaltové vrstvy na urovnanou vrstvu bez vzájemného promísení směsí a zhutnění obou vrstev současně. [7]

#### **2.6.2.4. Remix**

Jedná se o technologii recyklace asfaltové vrstvy za horka na místě, při které dochází k rozprostření přidávaného kameniva na povrch vozovky, následného ohřátí asfaltové vrstvy, rozpojení ohřáté směsi, přidání potřebných materiálů a promíchání ohřáté asfaltové směsi s přidávanými materiály. Posledním krokem je zpětné položení upravené asfaltové směsi a její následné zhutnění. [7]

#### **2.6.2.5. Remix Plus**

Recyklace stávající asfaltové obrusné vrstvy za horka na místě se současnou pokládkou nové obrusné vrstvy. Technologie se skládá z rozprostření přidávaného

kameniva pro úpravu zrnitosti recyklované směsi, následné ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci. Následuje rozpojení, přidání změkčující přísady nebo silničního asfaltu a promíchání. Poté se upravená směs zpětně položí a na ni se položí nová asfaltová směs obrusné vrstvy systémem horké na horké, následuje zhutnění asfaltového souvrství hutnicími válci. [7]

Tabulka 3 – Užití recyklovaných asfaltových vrstev v konstrukci vozovky [7]

Technologie recyklace	Doporučená třída dopravního zatížení <sup>1)</sup>		
	Obrusná vrstva	Ložní vrstva	Podkladní vrstva
Remix	IV – VI	I – VI	S – III
Remix Plus	-	I – IV	-

<sup>1)</sup> Třídy dopravního zatížení podle ČSN 73 6114, Z1 se vztahují na recyklovanou vrstvu

Výhody recyklace na místě za horka:

- oprava vozovky do hloubky až 55 mm,
- zvýšení kvality konstrukční vrstvy,
- zvýšit pohodlí jízdy a bezpečnosti,
- prodloužit životnost asfaltového krytu,
- nízké ekonomické náklady a časově nenáročná. [4]

### 2.6.3. Recyklace v míchacím centru za studena

Technologický proces zhotovení recyklované vrstvy převážně z recyklovaného kameniva, které se před dovezením na stavbu upravuje mícháním v centru. [15]

R – materiál je vyfrézovaná asfaltová směs, která se dopravuje ze stavby. V míchacím centru se smíchá s asfaltovou emulzí nebo pěnoasfaltem. V případě nedostatků je možné přidat cement v obsahu 1 – 2 % anebo vápenný hydrát. Vyrobená směs je zpět dovezena na stavbu a pokládá se finišery, hutní se těžkými nebo pneumatikovými válci. Vibrační válce na tuto směs nejsou tak účinné. Po zhutnění směsi může dosahovat mezerovitosti okolo 8 – 12 %. [4]

### 2.6.4. Recyklace v obalovně za horka

Nejčastější a nejefektivnější způsob recyklace vozovek je recyklace v obalovně za horka. Jde o nejvyšší možné zhodnocení R-materiálu.

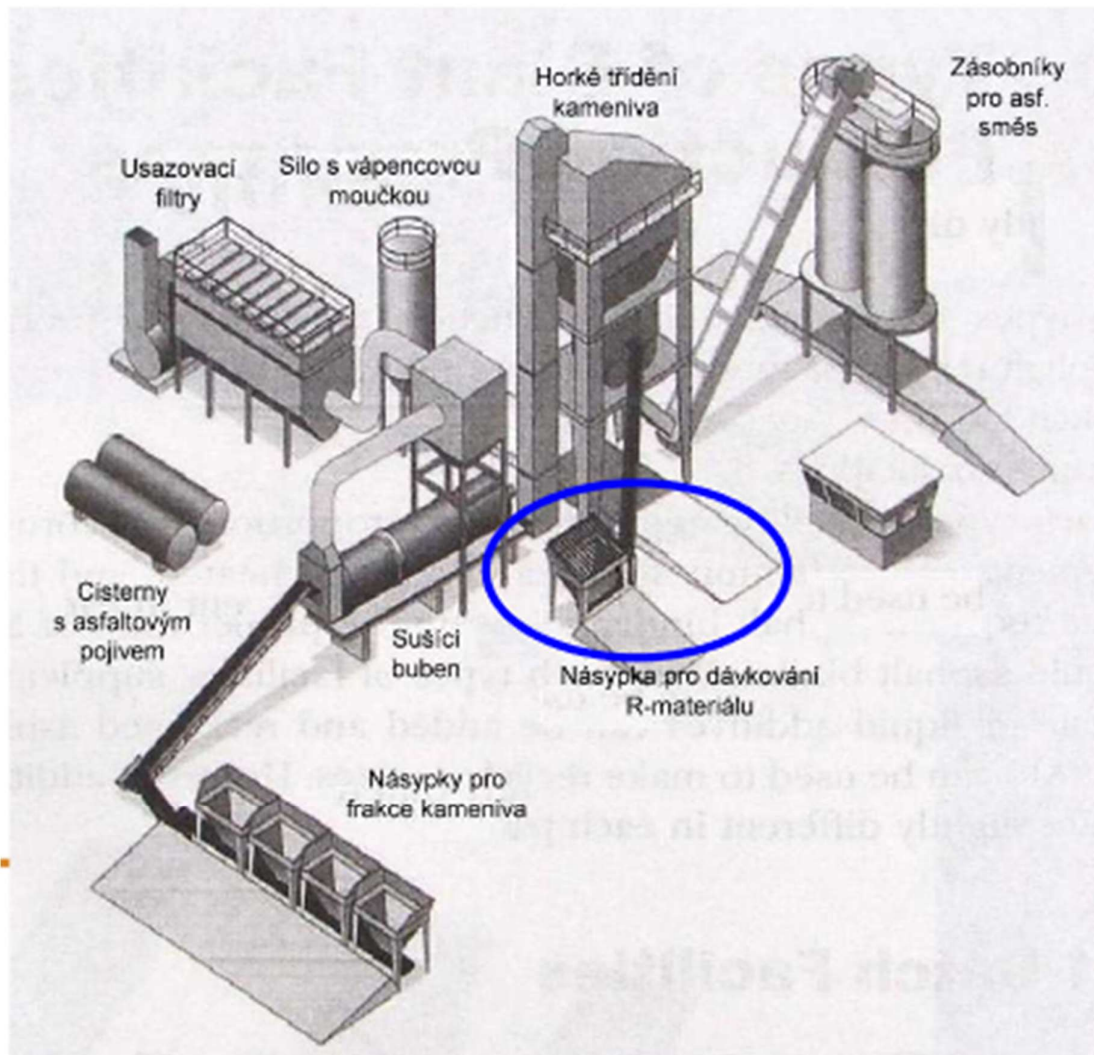
Důležitý je R-materiál vybouraný nebo vyfrézovaný z asfaltové směsi, která se poté upravuje drcením a tříděním.

Rozlišujeme tři způsoby recyklace na obalovně za horka:

1. Studený R – materiál je dávkován přímo do míchačky šaržovy obalovny.
2. R – materiál je předeříván v paralelním bubnu šaržovy obalovny.
3. Metoda Drum – mix pro kontinuální obalovny. [4]

### 2.6.4.1. Dávkování studeného R-materiálu přímo do míchačky

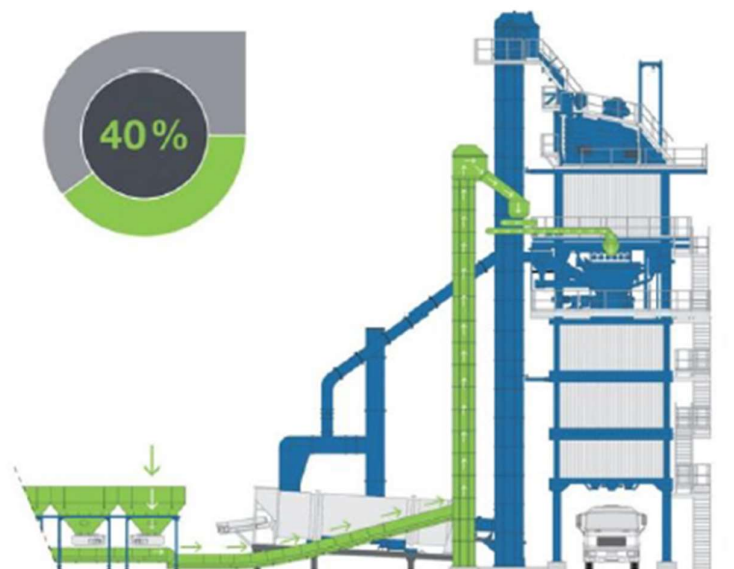
Při výrobě nové směsi touto metodou může být maximální množství R-materiálu okolo 25 %. Sklárky jsou často nezastřešené a objevují se problémy s vlhkostí, proto je nutno zařídit odvětrávání míchačky obalovny. Při výrobě směsi se přidává jemnější nebo hrubší frakce R-materiálu a to podle druhu směsi, která se vyrábí. [3]



Obr. 10 Šaržova obalovna s násypkou na dávkování R - materiálu [4]

Tato metoda je odlišná od ostatních metod tím, že R-materiál není předehříván, a proto je nutné kamenivo předehřát na vyšší teploty, aby se R-materiál ohřál stykem s kamenivem.

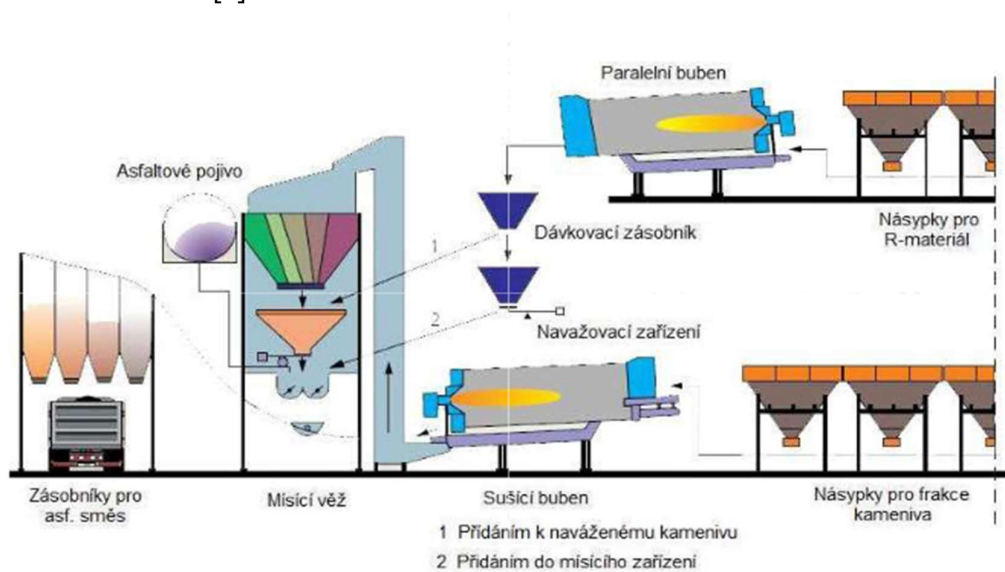
Společnost Benninghoven již vyrábí tzv. „Multivariable dosing systém“, který dle společnosti dokáže dosáhnout dávkování až 40 % studeného R-materiálu pomocí dávkování menších dávek do míchačky. V České republice v současné době využívá tuto metodu asi 40 % šaržových obaloven. [15]



Obr. 11 Multivariable dosing systém [15]

#### 2.6.4.2. R – materiál přehříván v paralelním bubnu

Na rozdíl od dávkování R – materiálu tato metoda umožňuje výrazně vyšší množství R–materiálu ve směsi. Do podkladních vrstev může být použito až 80 % R – materiálu. V ČR se vyfrézovaný materiál netřídí dle vrstev, avšak při vyfrézování materiálu podle vrstev se získá vysoce hodnotný materiál obrusných vrstev, a proto je zpět používána do obrusných vrstev. V Německu výrobce musí přidat do vyráběné směsi R – materiál, který je poskytován investorem. [3]



Obr. 12 Šaržova obalovna s paralelním bubnem [3]



Obr. 13 Skladování R-materiálu na obalovně – Německo – Bavorsko [3]

V paralelním bubnu dochází k nahřívání přidávaného R-materiálu na teplotu až 130 °C a pro ošetření R-materiálu se přidává rejuvenační přísada. Poté je tento nahřátý R-materiál dávkován do míchačky obalovny. Tímto způsobem dávkování není nutné nově přidávané kamenivo nahřívát na vysokou teplotu. Díky tomu nehrozí nebezpečí nadměrné degradace pojiva v R-materiálu. Další výhodou je, že nedochází k tvorbě vodní páry. [19]

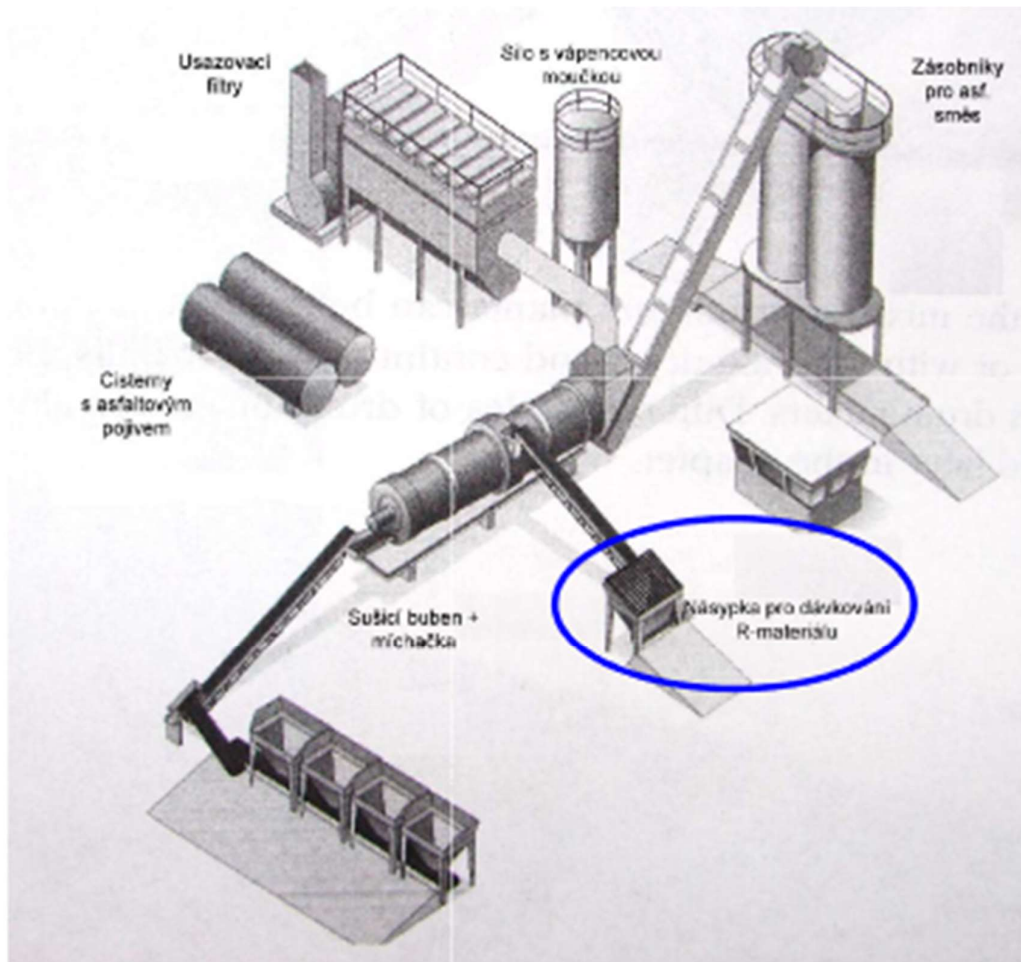




Obr. 14 Obalovna asfaltových směsí vybavena paralelním sušícím bubnem – Česká republika – Bruntál [19]

#### 2.6.4.3. Metoda Drum – mix

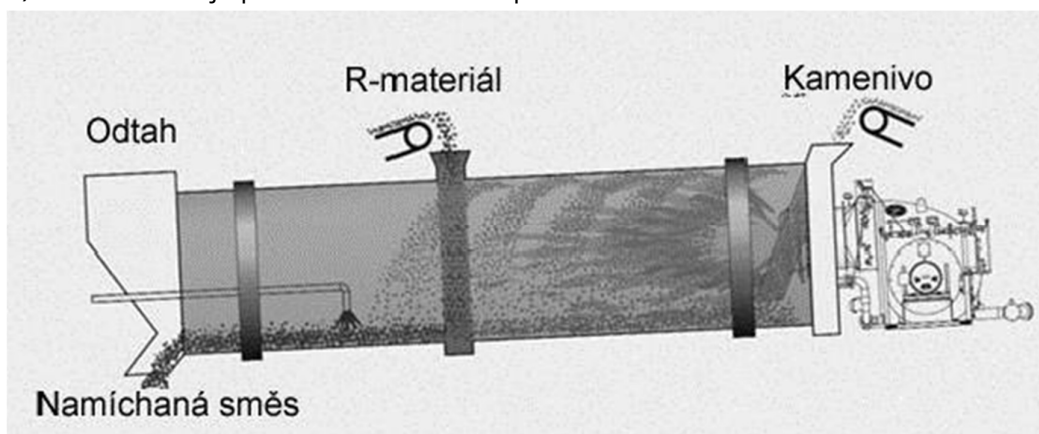
Tato metoda je používána v kontinuálních obalovnách. V České republice není vůbec rozšířena, je vhodná pro stavby s většími objemy spotřebování a s vyráběním převážně jedné směsi. Výrobní proces probíhá nepřetržitě bez přestávky, jednotlivé příměsi jsou přidávány kontinuálně. R – materiál je přidáván: současně s proudem horkého vzduchu, proti proudu horkého vzduchu, vysoušen separátně a teprve poté dochází míchání směsi v oddělené míchačce. V USA se vyrábí až 80 % směsí touto metodou. [3][5]



Obr. 15 Kontinuální obalovna Drum – mix [3]

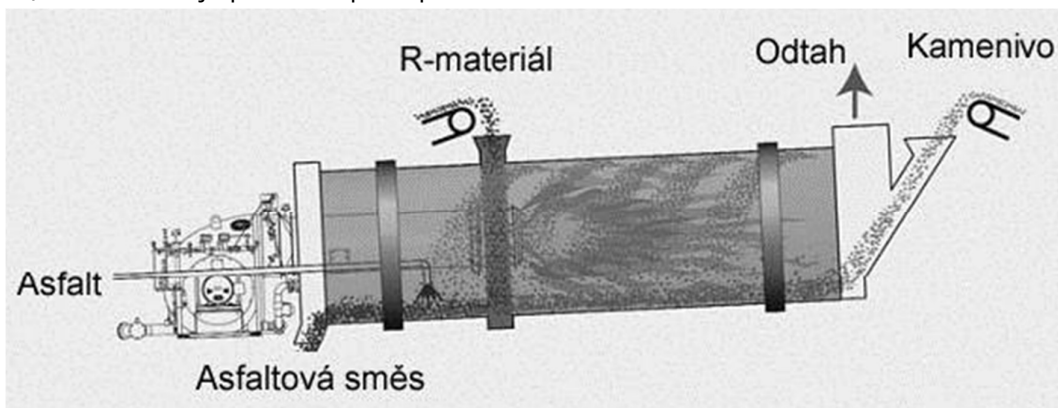
Využíváme tři druhy dávkování R – materiálu: [19]

- a) R – materiál je přidáván souběžně s proudem horkého vzduchu



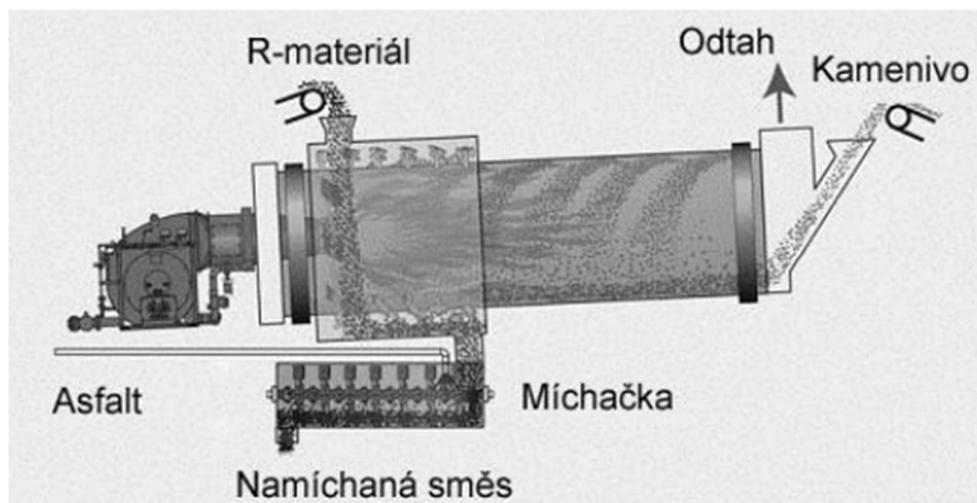
Obr. 16 Schéma kontinuální obalovny se systémem přidávání R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu [19]

b) R-materiál je přidáván proti proudu horkého vzduchu



Obr. 17 Schéma kontinuální obalovny se systémem přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu [19]

c) R-materiál je vysoušen separátně a teprve poté dochází k míchání směsi v oddělené míchačce



Obr. 18 Schéma kontinuální obalovny se separátním systémem vysoušení R-materiálu [19]

### 3. Cíl práce

Cílem diplomové práce je zhodnocení vlivu různého dávkování R-materiálu obsahujícího nemodifikovaný asfalt na vlastnosti asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 11+ stmeleného polymerem modifikovaným asfaltem. Práce se rozděluje na dvě části, a to na teoretickou a praktickou část.

Úkolem teoretické části diplomové práce je seznámení s problematikou využívání R-materiálu. Dále seznámení s pojmy týkajícími se recyklace netuhých vozovek, jejich výrobou a získáváním.

Úkolem praktické části diplomové práce je laboratorní výroba čtyř variant asfaltové směsi typu asfaltový beton s modifikovaným asfaltem, které obsahují různé podíly (0 %, 15 %, 30 % a 50 %) R-materiálu, s nemodifikovaným pojivem. Na navržených asfaltových směsích má být provedeno stanovení modulu tuhosti (dle ČSN EN 12697-26) a provedeno posouzení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem (dle ČSN EN 12697-46).

V závěru práce má být provedeno zhodnocení vlivu různého dávkování R-materiálu (s nemodifikovaným asfaltem) na dvě výše uvedené funkční vlastnosti asfaltového betonu pro obrusné vrstvy vozovky (ACO 11+).

## 4. Praktická část

V praktické části jsem prováděla posouzení modulu tuhosti asfaltové směsi a posouzení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem asfaltových směsí, které jsem zároveň porovnávala.

Na výzkum mi byly poskytnuty čtyři druhy asfaltových směsí pro obrusné vrstvy ACO 11+ s maximální velikostí zrna kameniva 11 mm. Pojivo polymerem modifikovaného asfaltem PMB 45/80-65 bylo použito v těchto směsích.

Vzorky byly poskytnuty firmou Froněk spol. s r.o. spolu s protokolem o zkoušce typu dle ČSN EN 13108-20 – ověření ve výrobě. Od každé směsi byly dovezeny 3 krabice, dohromady tedy 12 krabic asfaltových směsí.

Mým úkolem bylo zjistit a porovnat moduly tuhosti a nízkoteplotních vlastností zkoušených asfaltových směsí s polymerem modifikovaným asfaltem.

### 4.1. Použité materiály

Pro tuto práci jsem použila čtyři druhy asfaltových směsí, každou s jiným obsahem polymerem modifikovaného asfaltu (0%, 15%, 30% a 50%). Asfaltové směsi byly poskytnuty z firmy Froněk spol. s r.o., byly vyrobeny na obalovně Brant u Rakovníka.

#### 4.1.1. Kamenivo

Pro směsi ACO 11+, asfaltový beton pro obrusné vrstvy s maximální velikostí zrna 11 mm, bylo použito kamenivo různé frakce dle zkoušky typu. Asfaltová směs ACO má plynulou čáru zrnitosti, tudíž je ve směsi rovnoměrné zastoupení zrn kameniva.

Tabulka 4: Základní vlastnosti kameniva

Kamenivo		HDK	HDK	HDK	DDK	JMV
typ zkoušky		8/11	4/8	2/5	0/2	
Zrnitost kameniva propad sítím v %	22,4					
	16	100				
	11	87,4	100,0			
	8	13,5	92,7	100,0		
	5		39,9	90,5		
	4	0,9	12,7	40,0	100,0	
	2		1,3	13,0	94,0	100,0
	1			1,4	54,1	
	0,5				32,4	
	0,25				21,1	
	0,125				14,5	88,5
	0,063	0,6	0,8	0,9	9,5	72,2

#### 4.1.2. Asfaltové pojivo

Jako asfaltové pojivo pro mou diplomovou práci bylo použito PMB 45/80-65. Jedná se o asfaltové pojivo, jejichž fyzikální a mechanické vlastnosti jsou upraveny přísadou polymeru. Evropská norma EN 14023 je uvádí zkratkou PMB (Polymer modified Bitumen). [17]

PMB 45/80-65: [18]

- PMB – Polymerem modifikovaný asfalt
- 45/80 – Rozsah hodnoty penetrace
- 65 – Bod měknutí  $\geq 65^\circ\text{C}$

#### 4.1.3. Asfaltová směs

Asfaltová směs byla vyrobena v šaržově obalovně v Rakovníku firmou Froněk, spol s r.o. V rámci diplomové práce byly vyrobeny 4 asfaltové směsi.

Tabulka 5: Poměr zrnitosti směsi a obsah rozpustného pojiva

Směs	Síto	Zrnitost vzorku
ACO 11+	16	100
	11	95,4
	8	74,7
	5	58,9
	4	46,4
	2	35,1
	1	26,5
	0,5	19,4
	0,25	13,4
	0,125	9,6
	0,063	7,2
Obsah rozpustného pojiva B [%]		5,49

Dle protokolu zpracovaném firmou Froněk, spol. s r.o. byly zjištěny parametry navrhované asfaltové směsi, kdy jejich optimální obsah pojiva je 5,49 %.

Tabulka 6: Parametry navrhované asfaltové směsi

Bmin	Bvol	OHZT	OHNS	V	VMA	VBF
[%]	[v % obj.]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]
5	12,1	2458	2562	4,1	16,1	74,8
<b>5,49</b>	<b>13,3</b>	<b>2472</b>	<b>2555</b>	<b>3,2</b>	<b>16,6</b>	<b>80,4</b>
6	14,5	2485	2546	2,4	17	85,9

Bmin – Obsah rozpustného pojiva [%]

Bvol – Obsah rozpustného pojiva [v % obj.]

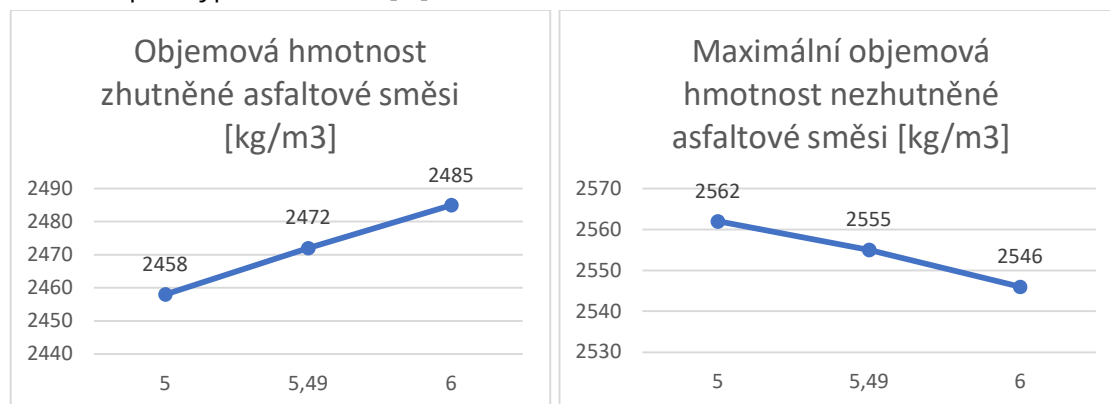
OHZT – Objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi [kg/m<sup>3</sup>]

OHNS – Maximální objemová hmotnost nezhutněné asfaltové směsi [kg/m<sup>3</sup>]

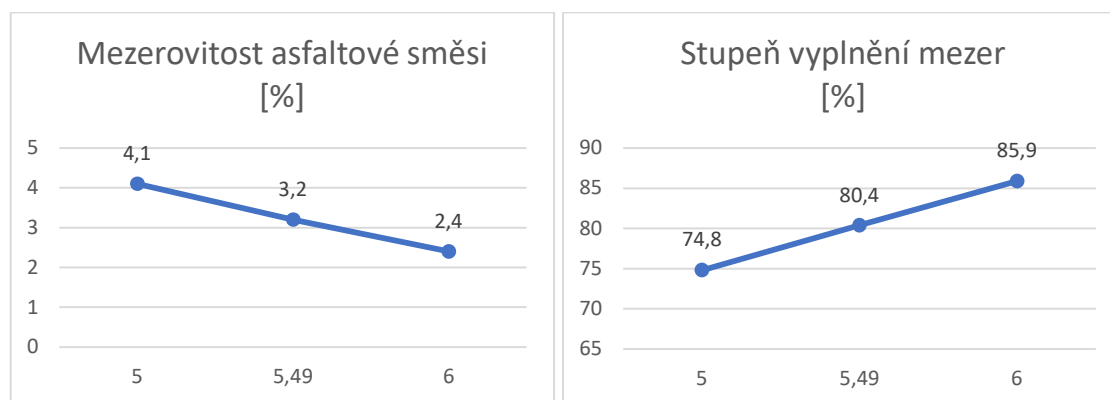
V – Mezerovitost asfaltové směsi [%]

VMA – Stupeň mezerovitosti kameniva [%]

VBF – Stupeň vyplnění mezer [%]



Graf 2,3: Objemové hmotnosti asfaltové směsi



Graf 4: Mezerovitost asf. směsi

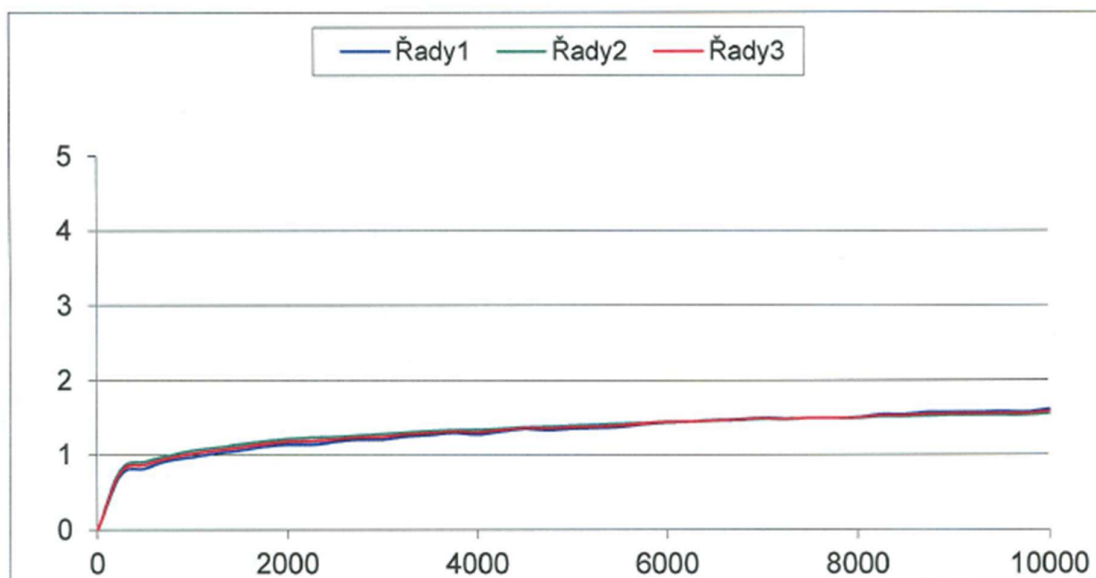
Graf 5: Stupeň vyplnění mezer

Mezní pracovní teploty vyráběné asfaltové směsi jsou v rozmezí 140 – 180 °C, přičemž teplota směsi za rozdělovacím šnekem finišeru musí být minimálně 140 °C.

Zkouška opakovaného pojetí kolem byla provedena dle ČSN EN 12697-22. Jedná se o zkoušku odolnosti asfaltové směsi proti trvalým deformacím. Zkouška byla provedena 31.1.2018 při teplotě 50 °C na dvou zkušebních deskách. Tloušťka desek, na kterých se prováděla zkouška, byly pro první desku 40,2 mm a pro druhou desku byla tloušťka 40,3 mm. Jejich objemová hmotnost byla 2458 kg/m<sup>3</sup>.

Tabulka 7: Hloubka koleje po daném množství cyklů

Kolo	Hloubka koleje po 5 000 cyklech [mm]	Hloubka koleje po 10 000 cyklech [mm]
1	1,35	1,61
2	1,39	1,55
<b>Průměr</b>	<b>1,37</b>	<b>1,58</b>



Graf 6: Hloubka koleje po 10 000 cyklech

## 4.2. Příprava vzorků

V této kapitole je popsán chod přípravy vzorků na zkoušení. Počínaje od zhutnění desky, přes nařezání až po konečný výsledný tvar zkušební tělesa.

### 4.2.1. Zhutňování desek

Desky jsem zhutnila pomocí segmentového zhutňovače. Tato metoda je popsána v normě ČSN EN 12697-33+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek.

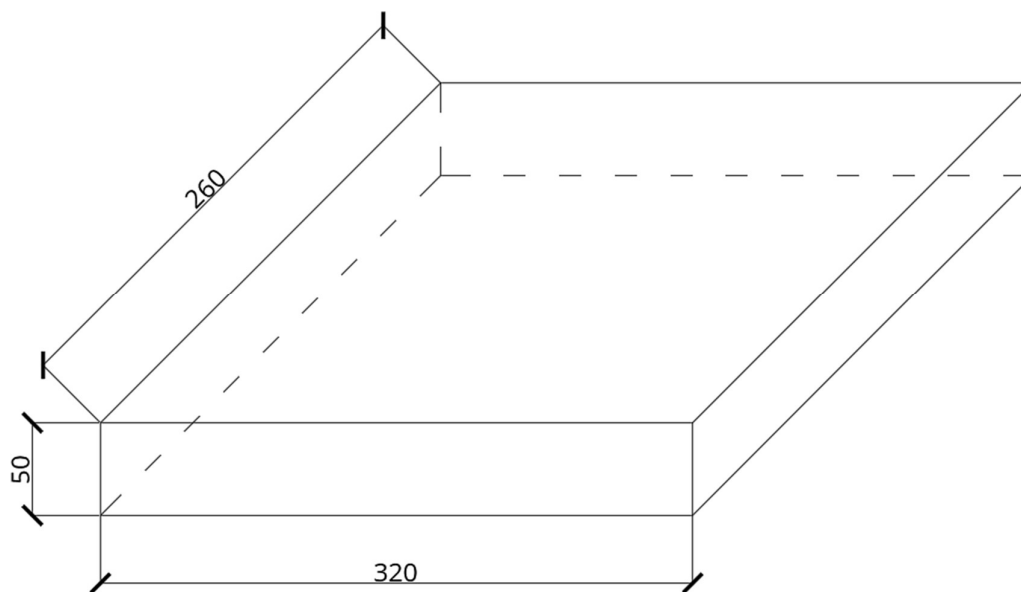
Nejprve jsem stanovila potřebné množství směsi pro výrobu jedné desky, množství bylo stanoveno z rozměrů desky a objemové hmotnosti získané z Marshallových těles. Tuto připravenou navážku asfaltové směsi jsem nahřála v sušárně na požadovanou teplotu hutnění. Po dosažení teploty 155 °C až 165 °C jsem naplnila formy segmentového hutňovače. Pomocí špachtle jsem rozprostřela a urovnala asfaltovou směs ve formách, v rozích jsem několikrát propíchl desky. Na povrch urovnané asfaltové směsi jsem položila krycí plech, který byl opatřen separačním papírem. Poté jsem nastavila zhutňovač k povrchu směsi a na přístroji zapnula hutnicí program.





Obr. 19 Segmentový zhutňovač

Zhutněné desky jsem zhutnila do rozměrů 260 x 320 x 50 mm. Zhutňovala jsem 3 desky z každé směsi.



Obr. 20 Rozměry pro zhutněné desky pro následné řezání zkušebních vzorků

### 4.2.2. Řezání

Po zhutnění desek jsem nařezala desky do rozměrů, které jsou potřeba pro jednotlivé zkoušky na asfaltových směsích. Nařezala jsem prvně trapezoidy pro stanovení modulu tuhosti a poté hranoly pro stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltových směsích. Řezání bylo provedeno na diamantové pile, která slouží na řezání vyhotovených desek.

Rozměry nařezaných vzorků jsou jednotlivě dány normou a jsou uvedeny v kapitole 4.2.4. a 4.5.6., kde jsou také popsány postupy zkoušek.



Obr. 21 Řezání diamantovou pilou

### 4.2.3. Lepení vzorků

Pro zkoušku modulu tuhosti asfaltových směsích dle ČSN EN 12697-46 je potřeba upevnění vzorku háčkem na vrcholu zkušební vzorku a upevnění vetknuté kovové podpory na spodní straně zkušební vzorku. Pro zkoušku posouzení nízkoteplotních

vlastností jednoosou zkouškou v tahu dle ČSN EN 12697-46 je potřeba nalepit kovové úchyty na vrchní a spodní stranu zkušební vzorku.



Obr. 22 Nalepený trapezoid

Vzorky jsem upevnila pomocí lepidla, které se skládá z pryskyřice, tvrdidla a fileru. Tyto tři složky jsem smíchala, dokud nebylo dosaženo požadované konzistence lepidla.



Obr. 23 Rozprostření lepidla do čelistí pro zkoušku posouzení nízkoteplotních vlastností

#### 4.2.4. Stanovení modulu tuhosti dle ČSN EN 12697-26

Postup zkoušky, kterou jsem prováděla v laboratoři pro zjištění modulů tuhosti asfaltových směsí je popsán v normě ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody: Část 26: Tuhost.

Cílem této zkoušky je charakterizovat tuhost asfaltových směsí. Zkouška se provádí ztuhlé asfaltové směsi při vynuceného harmonického zatížení. Postup zkoušky může být použit pro určení chování celé konstrukce vozovky. Jako zkušební tělesa byly použity vetknuté trapezoidy a pro měření jsem použila zařízení na měření modulů tuhosti v laboratoři PKO. [1]

Výsledek zkoušky slouží pro návrh konstrukce vozovky. Je stanoven komplexní modul, který je vztahem mezi napětím a přetvořením pro lineárně viskoelastický materiál. Tento materiál je podroben ustálenému harmonickému zatížení v čase. [15]



Obr. 24 Zkušební tělesa: komolé klíny (trapezoidy) přilepené k podložkám

##### 4.2.4.1. Zkušební pomůcky

Ke zkoušce jsem potřebovala zkušební zařízení, které vzorky vytemperovalo na zkušební teplotu ( $15^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ) po celou dobu zkoušení vzorků a zároveň v této teplotě dokázalo zařízení vyvinout sinusový dynamický pohyb na upevněném vrcholu vzorku pro

frekvenci 5 Hz – 25 Hz. Měřicí zařízení obsahuje snímače pro snímání dynamické síly, průhybu a fázového úhlu. [5]

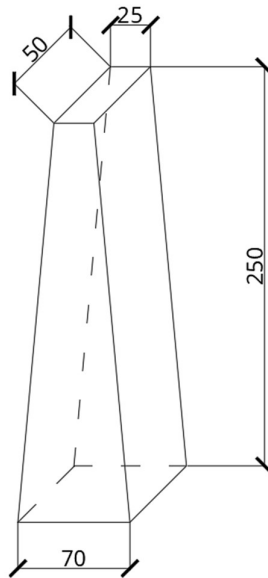


Obr. 25 Měřicí zařízení

Dále jsou třeba nerezové podkladní destičky, háček, lepidlo, váha vzorku s přesností 0,1 g a posuvné měřítko na změření veškerých potřebných rozměrů. [5]

#### 4.2.4.2. Postup zkoušky

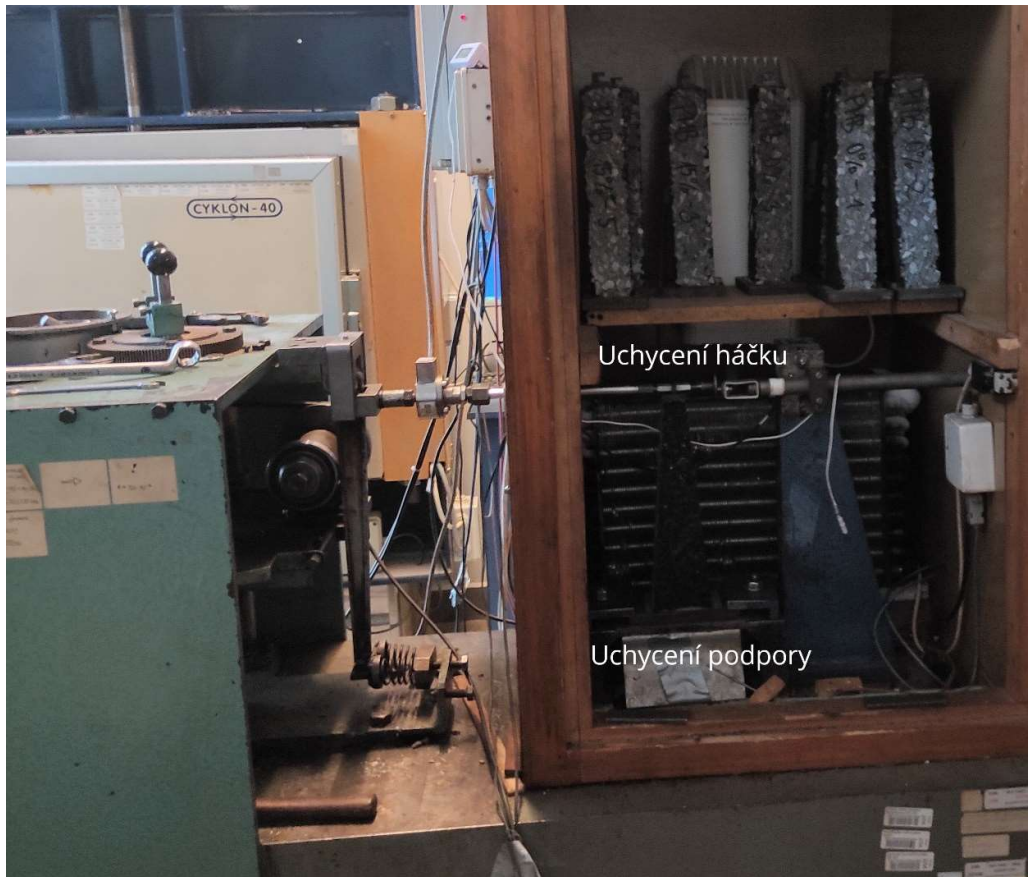
Nejprve bylo třeba si připravit zkušební tělesa, které mají předepsané rozměry a vyřezávají se ze zkušebních desek. Výroba těchto zkušebních desek je popsána v kapitole 4.2.1. Z každé desky bylo vyřezáno 5 zkušebních těles pro každou zkoušenou směs. [5]



Obr. 26 Předepsané rozměry pro zkušební vzorek pro stanovení modulu tuhosti asfaltových směsí

Přesné rozměry byly změřeny posuvným měřítkem a hmotnosti stanovena vážením, které byly zapsány do tabulek. Na spodek zkušebního tělesa byly přilepeny kovové destičky a na vrchní část měřeného tělesa pomocí lepidla byl přilepen háček. Zkušební tělesa musela být odložena minimálně 24 hodin pro dokonalé vytvrnutí lepidla. [5]

Zkoušku jsem prováděla při dvou teplotách, při teplotě 15 °C a 0 °C. Tělesa byla vytemperována v temperovacím zařízení po dobu minimálně 2 a půl hodiny. Poté byly po jednom namontovány do zařízení, bylo provedeno upevnění kovové destičky a vrchního háčku, abych mohla uskutečnit měření modulu tuhosti. Zkušební těleso je podrobena sinusovou zátěží na 5 Hz – 25 Hz. Před měřením jsem nastavila do programu na počítači rozměry naměřených zkoušených vzorků.



Obr. 27 Uchycení vzorku do temperovaného zařízení

Tato zkouška je nedestruktivní, tzn. zatěžování probíhá v pružné oblasti tělesa. Zkoušený vzorek je poté podroben zatěžování harmonickou zatěžovací silou o frekvenci 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz a 25 Hz.

#### 4.2.4.3. Výpočet

Po dobu zkoušky jsou zkušební tělesa zatěžována v rozsahu lineárního přetvoření. Využívá se konstantní síla zatěžování nebo konstantní přetvoření. Při zkoušce se měří amplituda napětí a poměrné přetvoření s fázovým úhlem mezi napětím a poměrným přetvoření.

Získanými hodnotami během zkoušky jsou vyvozená síla  $F$ , posun  $z$  a fázový úhel  $\Phi$ . Poté se vypočítají dvě další složky modulu tuhosti, reálná složka  $E_1$  a imaginární složka  $E_2$ . [15]

$$E_1 = \gamma * \left( \frac{F}{z} * \cos(\Phi) + \frac{\mu}{10} * \omega^2 \right) [15]$$

$$E_2 = \gamma * \left( \frac{F}{z} * \sin(\Phi) \right) [15]$$

$\gamma$  – faktor tvaru jako funkce velikosti a tvaru zkušební tělesa

$$\gamma = \frac{12^3}{b(h_1-h_2)^3} * \left[ \left( 2 - \frac{h_2}{2h_1} \right) * \frac{h_2}{h_1} - \frac{3}{2} - \ln \frac{h_2}{h_1} \right] [15]$$

$\mu$  – faktor hmotnosti

$$\mu = 0,135M + m [15]$$

M – Hmotnostní složení tělesa [g]

m – hmotnost pohyblivých částí [g]

$$|S| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} [1]$$

S – Modul tuhosti

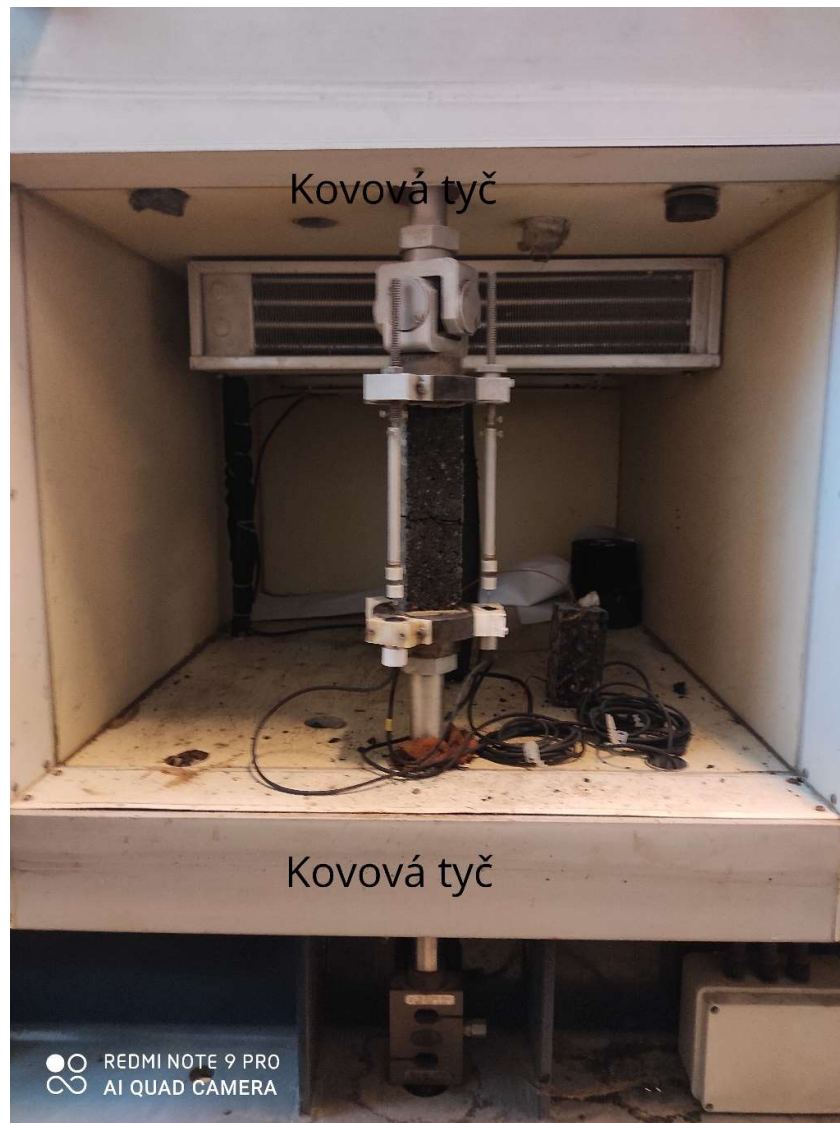
Výsledkem měření jsou aritmetické průměry dílčích výsledků modulu tuhosti a fázového posunu při dané teplotě a frekvenci. [15]

#### 4.2.5. Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem dle ČSN EN 12697-46

Zkouška, kterou jsem prováděla v laboratoři pro zjištění nízkoteplotních vlastností je dle normy ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem. V diplomové práci jsem prováděla stanovení metodou TSRST, neboli stanovení minimální teploty asfaltové směsi, kterou dokáže před porušením tělesa snést s rovnoměrně řízeným poklesem teploty. Tato zkouška je jednou z více variant popsanych v normě ČSN EN 12697-46.

Při této zkoušce vystavíme zkušební těleso poklesu teploty s konstantní rychlostí 10 °C/hod. Zamezíme tepelnému smršťování pomocí kovových tyčí, na které je nastaveno zkušební těleso. Snižujeme teplotu a dochází k vývinu tzv. kryogenního napětí ve vzorku a výsledkem je porušení tohoto tělesa trhlinou. [5]

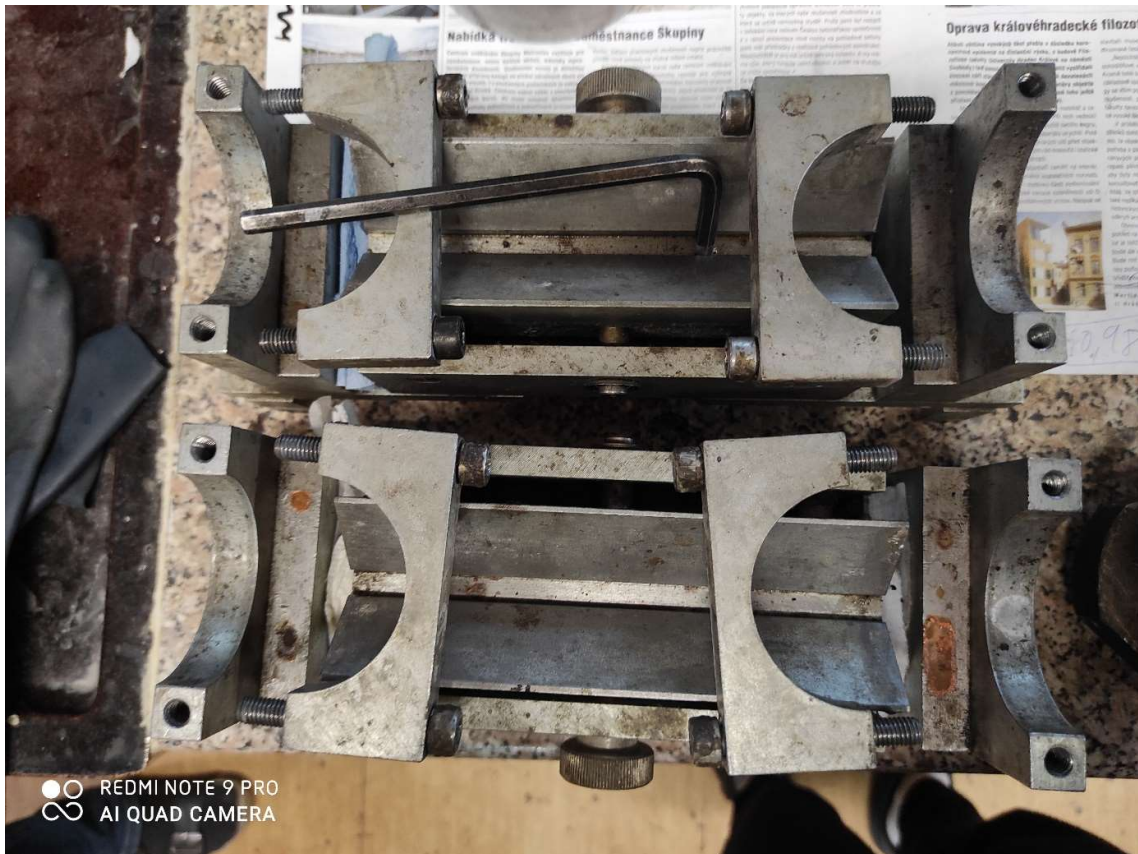




Obr. 28 Zkouška nízkoteplotních vlastností, upevnění vzorku

#### 4.2.5.1. Zkušební pomůcky

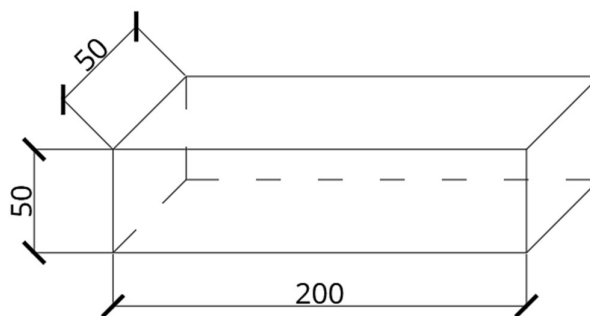
Měření jsem prováděla v zařízení (komoře) pro provádění zkoušky metodou TSRST (CYKLON – 40). Součástí tohoto zařízení je temperovací zařízení pro postupné snižování teploty vzorku. Dále jsem využila čelisti pro nalepení vzorku a uchytnutí na kovové tyče, lepidlo a centrovací rám. [5]



Obr. 29 Centrovací rám

#### 4.2.5.2. Postup zkoušky

Před začátkem zkoušky byla potřeba ze ztuhlých desek nařezat zkušební tělesa pomocí diamantové pily. Z každé desky byly vyrobeny 3 zkušební tělesa od každé směsi. Zkoušku jsem prováděla na dvou zkušebních tělesech a jedno další bylo záložní. Tělesa měly rozměry 50 x 50 x 200 mm.



Obr. 30 Rozměry zkušebního tělesa



Obr. 31 Připravená zkušební tělesa [1]

Na připravené zkušební tělesa jsem upevnila pomocí lepidla čelisti. Zkušební těleso jsem ponechala alespoň 24 hodin v centrovacím rámu.

Poté jsem zkušební těleso umístila do měřícího zařízení našroubováním čelistí na kovové tyče zařízení. Na čelisti jsem upevnila měřící senzory, které sledovaly veškeré změny délky zkušebního tělesa, které byly vyvolány teplotní roztažností. Na počítači, kde je řídicí program, jsem nastavila rozměry vzorku a poté jsem musela upravit měřící senzory, aby byly v neutrální poloze. Následně bylo vše zapnuto a pro teplotu na zahajovací teplotu jsem čekala 15 minut. Poté byla zkouška zahájena a pokles teploty byl řízen samočinně, až do porušení vzorku.



Obr. 32 Porušený zkušební vzorek v měřícím zařízení

#### 4.2.5.3. Vyhodnocení zkoušky

Výstupem zkoušky je protokol, kde je uvedena především teplota vzorku při porušení  $T_{failure}$  v °C, napětí při porušení  $\sigma_{cry, failure}$  v MPa, síla při porušení  $F_{cry, failure}$  v kN, počáteční teplota  $T_0$  ve °C a rychlost řízení teploty dT. Součástí protokolu je graf závislosti mezi kryogenním napětím nebo sílo a teplotou. Výsledkem považujeme průměr ze dvou měření na jedné asfaltové směsi. [5]

### 4.3. Výsledky

Níže jsou uvedeny veškeré výsledky naměřených zkušebních vzorků jednotlivou zkouškou, které jsem v rámci diplomové práce v praktické části prováděla.

### 4.3.1. Stanovení modulu tuhosti

#### 4.3.1.1. Naměřené hodnoty

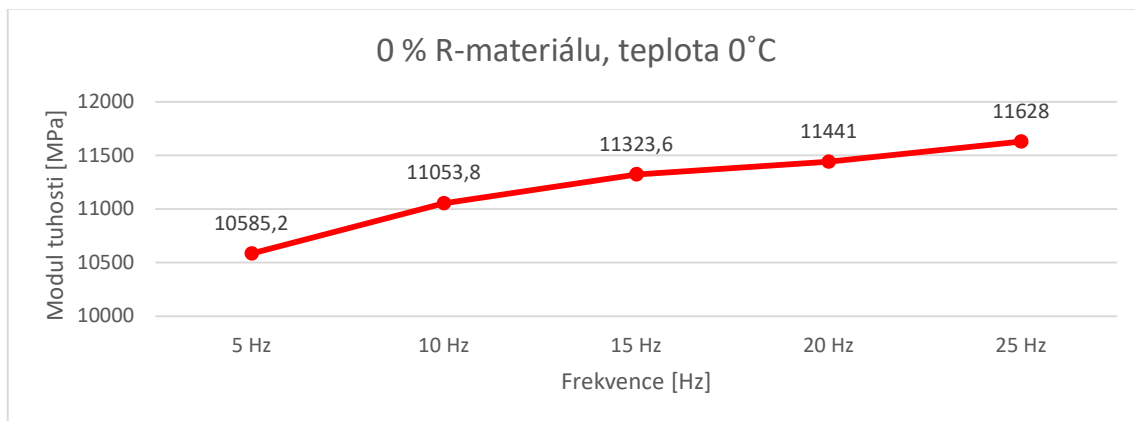
Postup měření touto zkouškou je popsán v kapitole 4.2.3. Stanovení modulu tuhosti dle ČSN EN 12697-26. Vzorky byly nařezány z desek s obsahem R-materiálu v množství 0 %, 15 %, 30 % a 50 %.

##### 4.3.1.1.1. Měření modulů tuhosti při teplotě 0 °C

#### Směs s 0 % R-materiálu

Tabulka 8 – Modul tuhosti s 0 % množství R-materiálu při teplotě 0 °C

0 % R-materiálu, teplota 0 °C					
Frekvence zatížení	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	10585,2	11053,8	11323,6	11441	11628

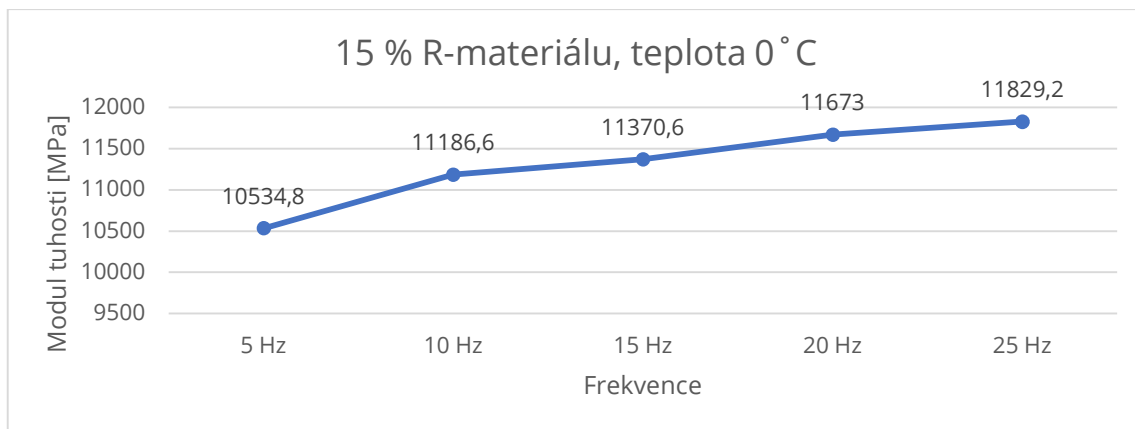


Graf 7 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 0 % R-materiálu při teplotě 0 °C

### Směs s 15 % R-materiálu

Tabulka 9 – Modul tuhosti s 15 % množství R-materiálu při teplotě 0 °C

15 % R-materiálu, teplota 0 °C					
Frekvence zatížení	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	10534,8	11186,6	11370,6	11673	11829,2

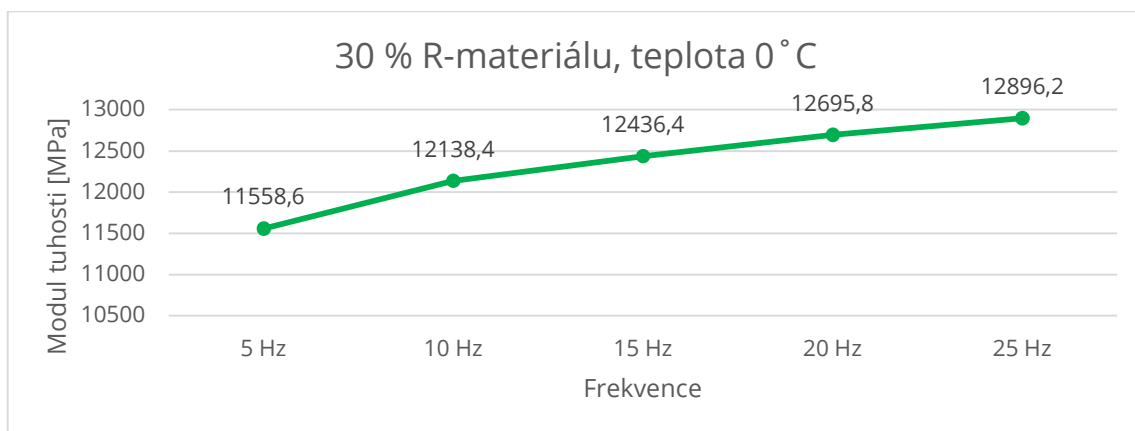


Graf 8 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 15 % R-materiálu při teplotě 0 °C

### Směs s 30 % R-materiálu

Tabulka 10 – Modul tuhosti s 30 % množství R-materiálu při teplotě 0 °C

30 % R-materiálu, teplota 0 °C					
Frekvence zatížení	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	11558,6	12138,4	12436,4	12695,8	12896,2

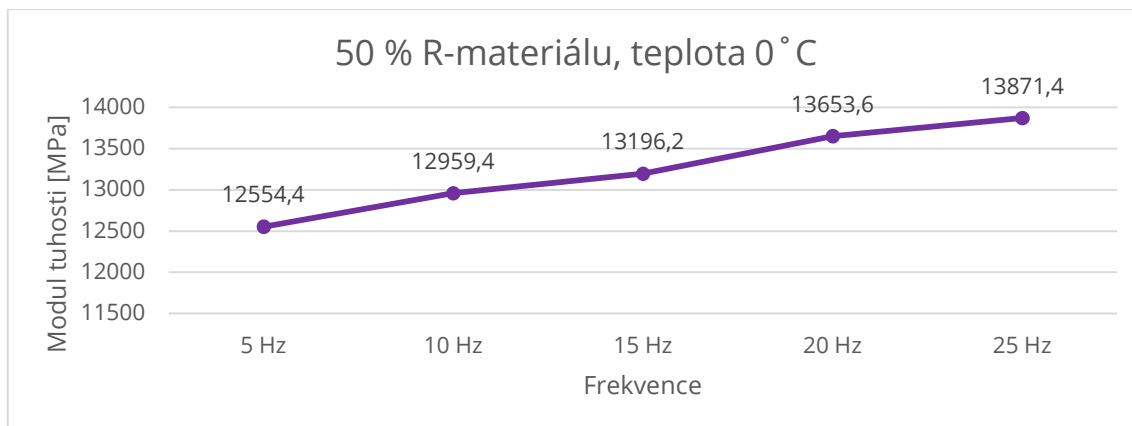


Graf 9 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 30 % R-materiálu při teplotě 0 °C

### Směs s 50 % R-materiálu

Tabulka 10 – Modul tuhosti s 50 % množství R-materiálu při teplotě 0 °C

50 % R-materiálu, teplota 0 °C					
Frekvence zatížení	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	12554,4	12959,4	13196,2	13653,6	13871,4



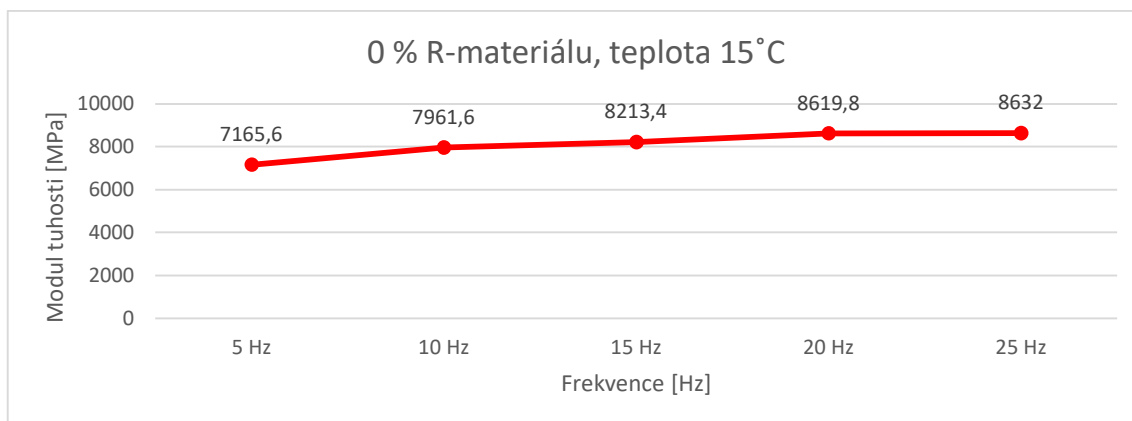
Graf 10 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 50 % R-materiálu při teplotě 0 °C

#### 4.3.1.1.2. Měření modulů tuhosti při teplotě 15 °C

### Směs s 0 % R-materiálu

Tabulka 11 – Modul tuhosti s 0 % množství R-materiálu při teplotě 15 °C

PMB 0 %, teplota 15 °C					
Frekvence zatížení	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	7165,6	7961,6	8213,4	8619,8	8632

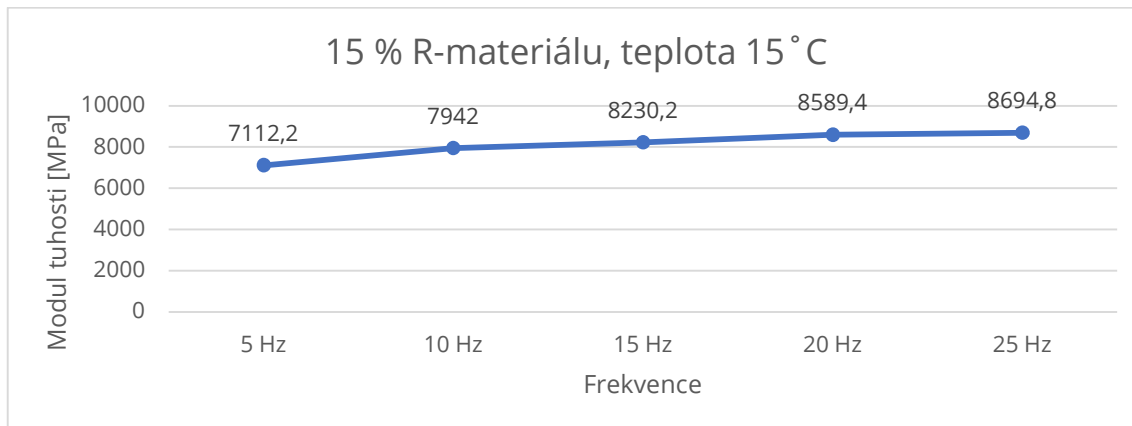


Graf 11 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 0 % R-materiálu při teplotě 15 °C

### Směs s 15 % R-materiálu

Tabulka 12 – Modul tuhosti s 15 % množství R-materiálu při teplotě 15 °C

15 % R-materiálu, teplota 15 °C					
Frekvence zatížení	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	7112,2	7942	8230,2	8589,4	8694,8

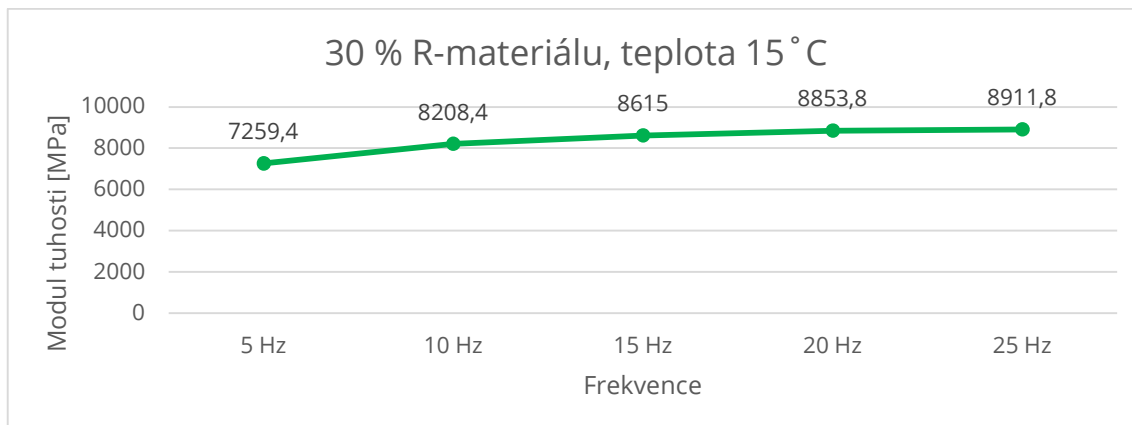


Graf 12 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 15 % R-materiálu při teplotě 15 °C

### Směs s 30 % R-materiálu

Tabulka 13 – Modul tuhosti s 30 % množství R-materiálu při teplotě 15 °C

30 % R-materiálu, teplota 15 °C					
Frekvence zatížení	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	7259,4	8208,4	8615	8853,8	8911,8



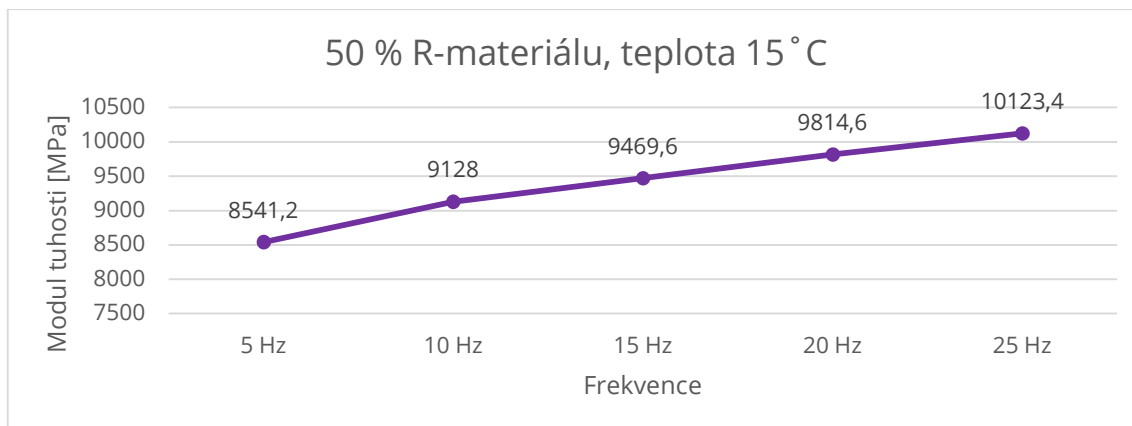
Graf 13 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 30 % R-materiálu při teplotě 15 °C



### Směs s 50 % R-materiálu

Tabulka 14 – Modul tuhosti s 50 % množství R-materiálu při teplotě 15 °C

50 % R-materiálu, teplota 15 °C					
Frekvence zatížení	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	8541,2	9128	9469,6	9814,6	10123,4



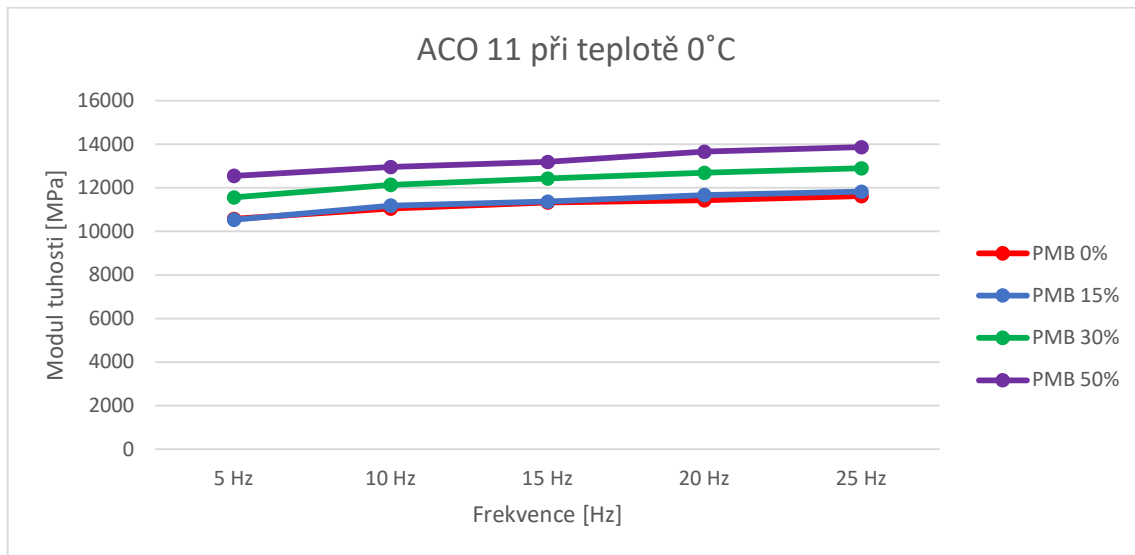
Graf 14 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 50 % R-materiálu při teplotě 15 °C

#### 4.3.1.2. Vyhodnocení zkoušky modulu tuhosti

V následující kapitole je zobrazeno porovnání modulů tuhosti pro asfaltový beton obrusný s různým procentuálním zastoupením R-materiálu s polymerem modifikovaným asfaltem při teplotách 0 °C a 15 °C, na kterých byla zkouška provedena.

Tabulka 15 – Výsledky měření modulu tuhosti s různým podílem R-materiálu při teplotě 0 °C

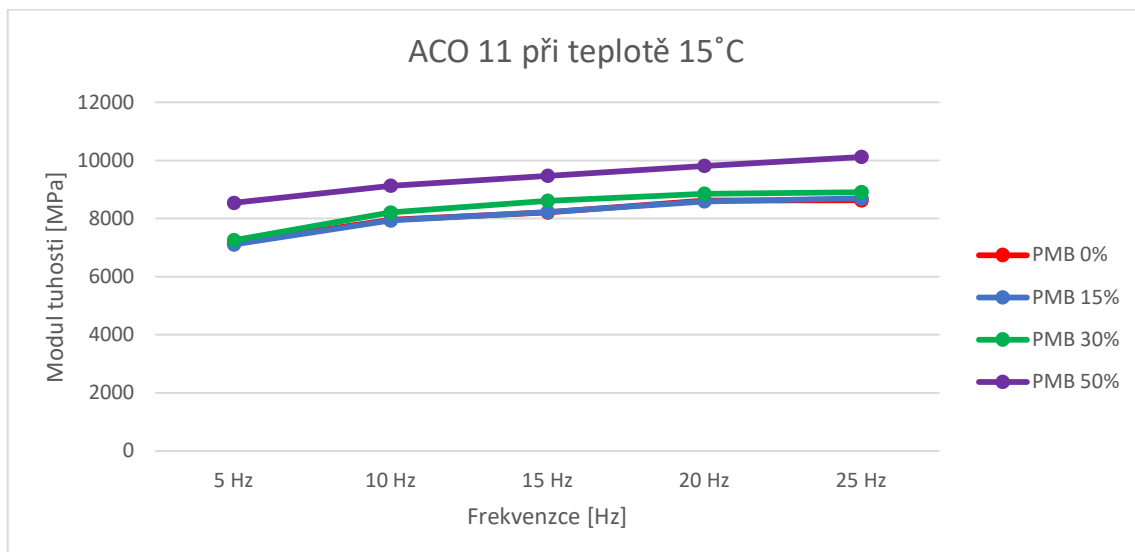
ACO 11+ při teplotě 0 °C					
Obsah R-materiálu	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
0 %	10585,2	11053,8	11323,6	11441,0	11628,0
15 %	10534,8	11186,6	11370,6	11673,0	11829,2
30 %	11558,6	12138,4	12436,4	12695,8	12896,2
50 %	12554,4	12959,4	13196,2	13653,6	13871,4



Graf 15 – Závislost modulů tuhosti na frekvenci a různým podílem R-materiálu při teplotě 0 °C

Tabulka 16 – Výsledky měření modulu tuhosti s různým podílem R-materiálu při teplotě 15 °C

ACO 11+ při teplotě 15 °C					
Obsah R-materiálu	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
0 %	7165,6	7961,6	8213,4	8619,8	8632,0
15 %	7112,2	7942,0	8230,2	8589,4	8694,8
30 %	7259,4	8208,4	8615,0	8853,8	8911,8
50 %	8541,2	9128,0	9469,6	9814,6	10123,4



Graf 16 – Závislost modulů tuhosti na frekvenci a různým podílem R-materiálu při teplotě 0 °C

Z naměřených výsledků lze vyčíst, že s vyšší teplotou se snižuje modul tuhosti. Zároveň při zvyšování frekvence se zkušebnímu vzorku zvyšuje modul tuhosti.

V obou měřených teplotách má asfaltová směs s 50 % podílem R-materiálu nejvyšší modul tuhosti ze všech měřených asfaltových směsí. Nejnižší hodnoty modulu tuhosti má naopak asfaltová směs s 0 % podílem R-materiálu. Modul tuhosti asfaltové směsi s 15 % podílem R-materiálu se příliš neliší od modulu tuhosti asfaltové směsi s 0 % podílem R-materiálu.

Při teplotě 0 °C mají zkušební vzorky s 0 % a 15 % podílem R-materiálu podobné moduly tuhosti, zatímco asfaltové směsi s 30 % a 50 % podílem R-materiálu se liší o cca 1 000 MPa.

Při teplotě 15 °C mají zkušební vzorky s 0 %, 15 % a 30 % podílem R-materiálu přibližný modul tuhosti a pouze asfaltová směs s 50 % podílem R-materiálu se liší o cca 1 000 MPa.

Z výsledků lze říci, že s vyšším obsahem R-materiálu se zvyšuje modul tuhosti asfaltových směsí ACO 11+.

## **4.3.2. Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem**

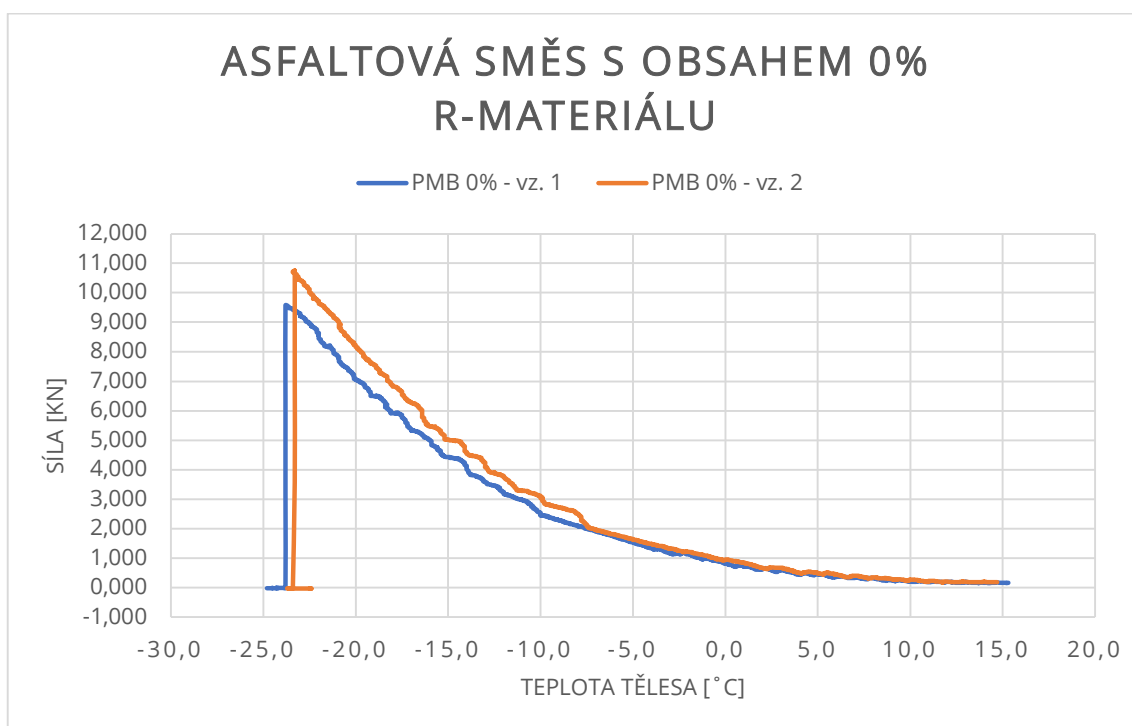
### **4.3.2.1. Naměřené hodnoty**

Postup měření touto zkouškou je popsán v kapitole 4.2.5. Stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem dle ČSN EN 12697-46. Vzorky byly nařezány z desek s obsahem R-materiálu v množství 0 %, 15 %, 30 % a 50 %.

#### 4.3.2.1.1. Asfaltová směs s 0 % obsahem R-materiálu

Tabulka 17 – Výsledné hodnoty zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem

Asfaltová směs	ACO 11, R-materiál 0 %	
Zkušební vzorek	1	2
Max. síla při porušení [kN]	9,58	10,75
Max. napětí při porušení [MPa]	3,83	4,30
Teplota v komoře při přerušení [°C]	-26,6	-24,4
Teplota vzorku při přerušení [°C]	-23,8	-23,3

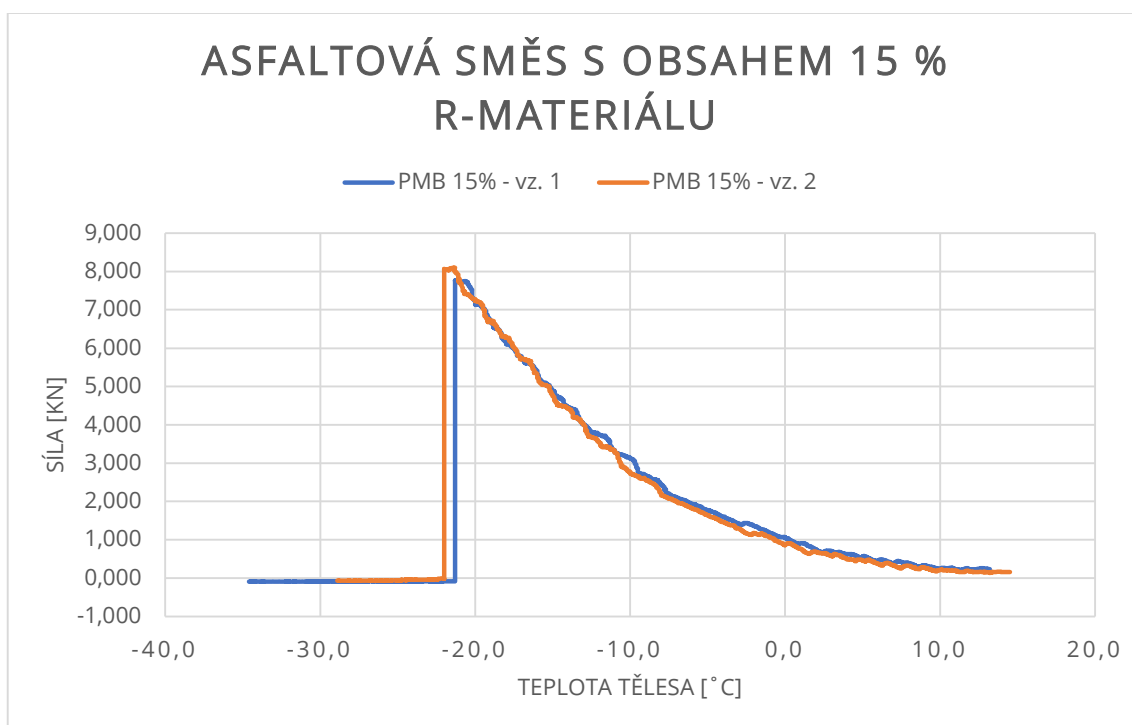


Graf 17 – Závislost síly a teploty tělesa s obsahem R-materiálu 0 %

#### 4.3.2.1.2. Asfaltová směs s 15 % obsahem R-materiálu

Tabulka 18 – Výsledné hodnoty zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem

Asfaltová směs	ACO 11, 15 % R-materiálu	
	1	2
Zkušební vzorek	1	2
Max. síla při porušení [kN]	7,76	8,10
Max. napětí při porušení [MPa]	3,11	3,24
Teplota v komoře při přerušení [°C]	-22,80	-22,80
Teplota vzorku při přerušení [°C]	-21,30	-21,40

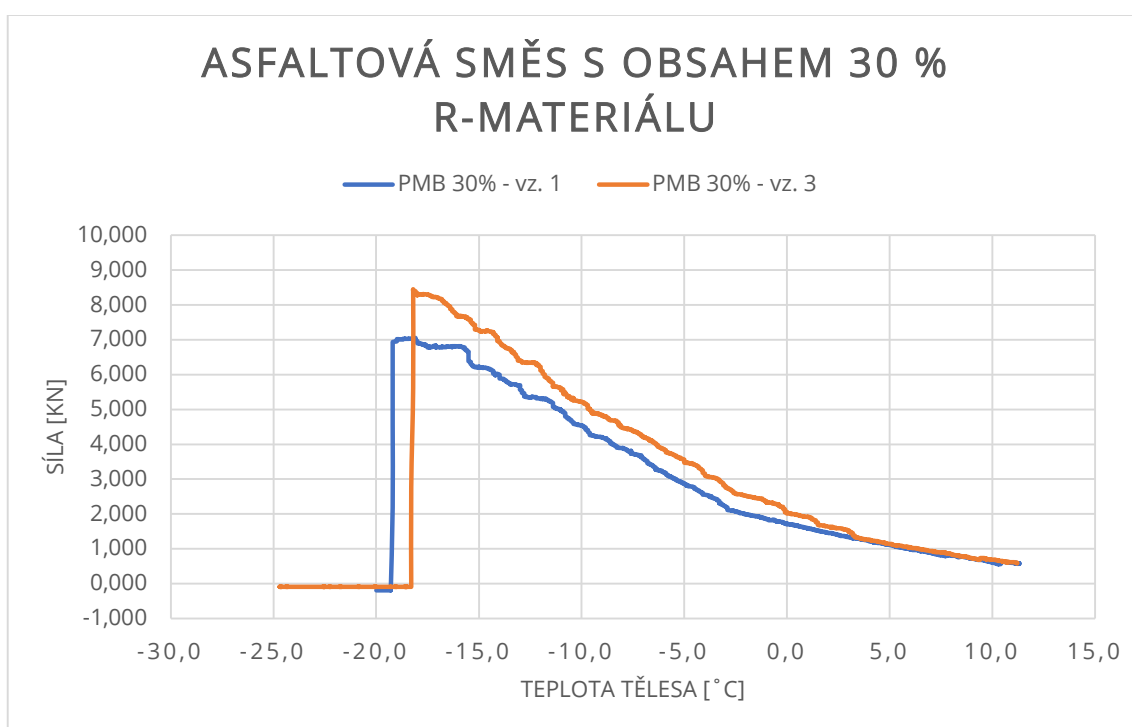


Graf 18 – Závislost síly a teploty tělesa s obsahem R-materiálu 15 %

#### 4.3.2.1.3. Asfaltová směs s 30 % obsahem R-materiálu

Tabulka 19 – Výsledné hodnoty zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem

Asfaltová směs	ACO 11, 30 % R-materiálu	
	1	3
Zkušební vzorek	1	3
Max. síla při porušení [kN]	7,05	8,45
Max. napětí při porušení [MPa]	2,82	3,38
Teplota v komoře při přerušení [°C]	-20,00	-21,70
Teplota vzorku při přerušení [°C]	-18,10	-18,20

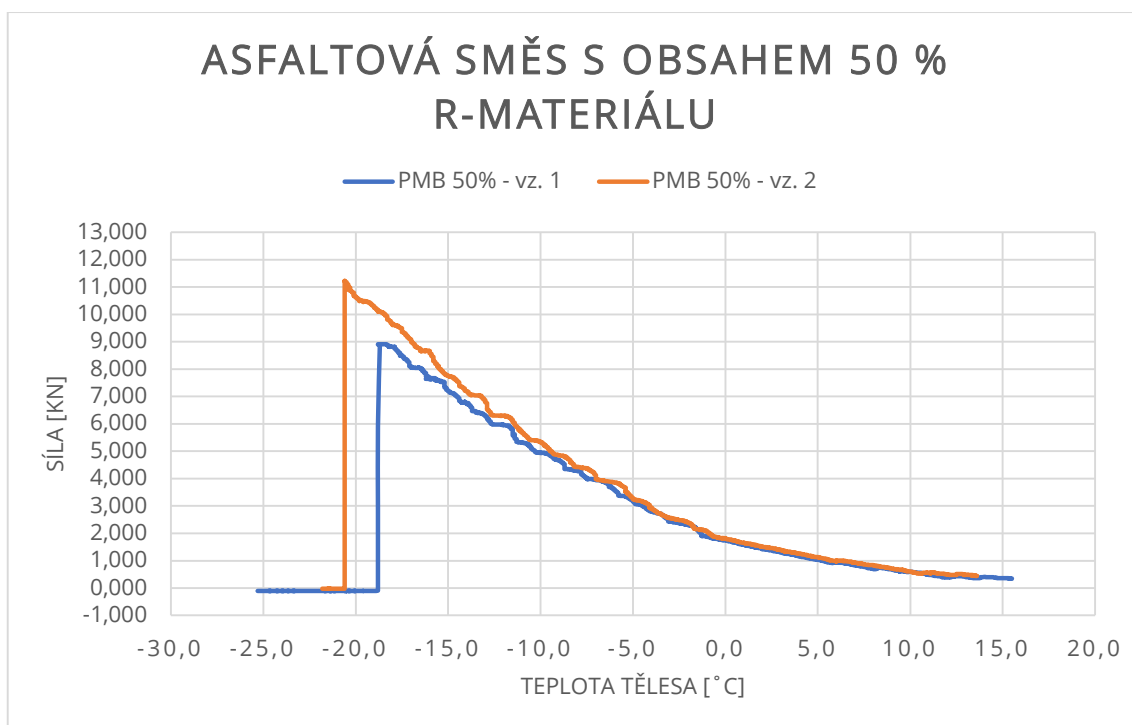


Graf 19 – Závislost síly a teploty tělesa s obsahem R-materiálu 30 %

#### 4.3.2.1.4. Asfaltová směs s 50 % obsahem R-materiálu

Tabulka 20 – Výsledné hodnoty zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem

Asfaltová směs	ACO 11, 50 % R-materiálu	
	1	2
Zkušební vzorek	1	2
Max. síla při porušení [kN]	8,91	11,22
Max. napětí při porušení [MPa]	3,56	4,49
Teplota v komoře při přerušení [°C]	-21,70	-23,40
Teplota vzorku při přerušení [°C]	-18,50	-20,60



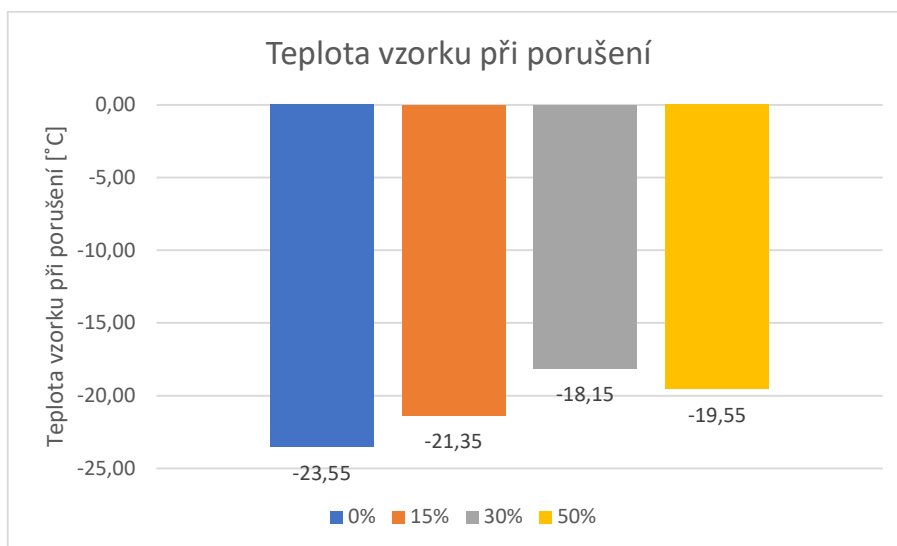
Graf 20 – Závislost síly a teploty tělesa s obsahem R-materiálu 50 %

#### 4.3.2.1.5. Vyhodnocení nízkoteplotních vlastností

V následující kapitole je shrnuto vyhodnocení stanovených nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí s obsahem R-materiálu (0 %, 15 %, 30 % a 50 %).

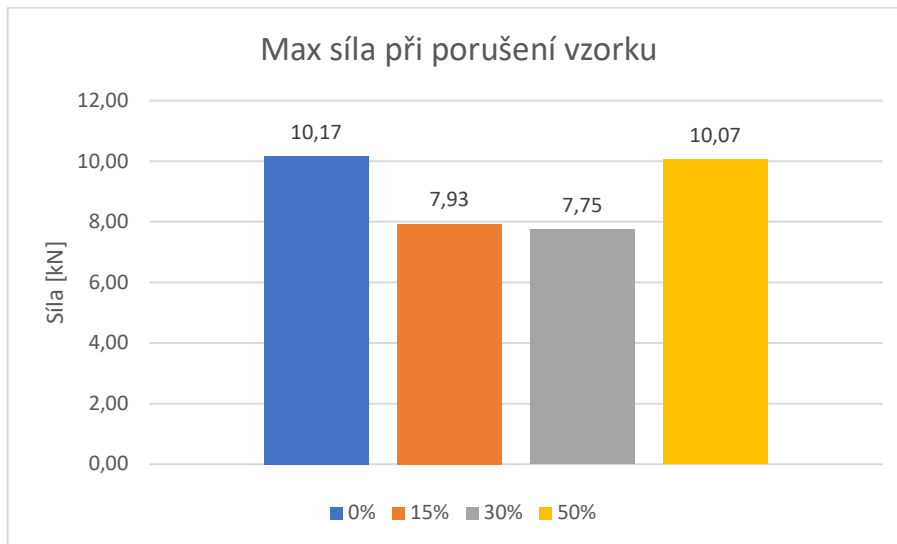
Tabulka 21 – Srovnání vyhodnocení nízkoteplotních vlastností jednotlivých asfaltových směsí ACO 11+

	Obsah R-materiálu [%]			
	0	15	30	50
Max. síla při porušení [kN]	10,17	7,93	7,75	10,07
Max. napětí při porušení [MPa]	4,07	3,18	3,10	4,03
Teplota v komoře při přerušení [°C]	-25,50	-22,80	-20,85	-22,55
Teplota vzorku při přerušení [°C]	-23,55	-21,35	-18,15	-19,55



Graf 21: Zobrazení teploty vzorku při porušení zkušebního tělesa





Graf 22: Zobrazení maximální síly porušení vzorku

Zprůměrované výsledné teploty jsem vynesla do grafu 21. Jedná se o teplotu, při které se zkušební vzorek porušil. Zprůměrované výsledné síly jsem vynesla do grafu 22, jedná se o sílu, která byla zaznamenána při porušení vzorku. Kompletní výsledky a grafy jsou uvedeny v příloze 3.

Asfaltová směs ACO 11+ bez přidaného R-materiálu má nejnižší teplotu při porušení vzorku, její teplota je  $-23,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teplota vzorků u směsi ACO 11+ s 30 % obsahem R-materiálu vyšla nejvyšší. Od asfaltové směsi ACO 11+ s 15 % obsahem R-materiálu se liší o  $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teplota pro asfaltovou směs ACO 11+ s 50 % podílem R-materiálu je však vyšší než asfaltová směs s 30 % podílem R-materiálu, není však příliš rozdílná, liší se pouze o  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Asfaltová směs ACO 11+ s 0 % podílem R-materiálu má maximální sílu při porušení vzorku 10,17 kN. Příliš se neliší od asfaltové směsi ACO 11+ s 50 % podílem R-materiálu, pouze o 0,1 kN, ale teplotou vzniku trhliny se liší o  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tak jako u teploty s asfaltovými směsi ACO 11+ s 15 % podílem R-materiálu a 30 % podílem R-materiálu je síla vyšší pro asfaltovou směs s 15 % podílem R-materiálu a liší se pouze o 0,18 kN.



Obr. 33 Porušený vzorek

Lze říci, že asfaltová směs bez obsahu R-materiálu má nejlepší nízkoteplotní vlastnosti. R-materiál negativně ovlivňuje nízkoteplotní vlastnosti.

## 5. Závěr

V praktické části diplomové práce bylo provedeno zhodnocení vlivu různého dávkování R-materiálu s nemodifikovaným asfaltem (0 %, 15 %, 30 %, 50 %) na výsledné vybrané funkční parametry asfaltové směsi typu asfaltový beton ACO 11+ s modifikovaným asfaltem třídy 45/80-65.

Jako funkční parametry pro posouzení vlivu různého dávkování R-materiálu byly vybrány:

- modul tuhosti, stanovený dle ČSN EN 12697-26,
- nízkoteplotní parametry, stanovený dle ČSN EN 12697-46

Na základě vyhodnocení naměřených dat, uvedených v kapitolách 4.3.1.2. a 4.3.2.1.5., je možno konstatovat že:

a) Modul tuhosti:

- Hodnota modulu tuhosti roste zvyšujícím se obsahem materiálu.
- Se snižující se zkušební teplotou (z 15 °C na 0 °C) hodnota modulu tuhosti asfaltové směsi ACO 11+ roste.
- Nejvyšších hodnot modulů tuhosti nabývá při obou zkušebních teplotách směs s 50 % obsahem R-materiálu.

b) Nízkoteplotní parametry:

- Asfaltové směsi ACO 11+ obsahující R-materiál vykázaly mírně horší nízkoteplotní parametry než „referenční směs“ bez obsahu R-materiálu.

## 6. Literatura

- [1] SLAVÍČEK, Michal, Využití R-materiálu v asfaltových kobercích mastixových, Vysoké učení technické, Brno 2017
- [2] KUDRNA, Jan, Recyklace a využití druhotných surovin při stavbě a opravě pozemních komunikací, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Brno 2004
- [3] VARAUS, Michal, Recyklace asfaltových směsí na obalovně [online], Přednáška 2013, dostupné na: <https://www.konference-projektovani.cz/rocnik-2013/prezentace/data/19-varaus.pdf>
- [4] VARAUS, Michal, Recyklace netuhých vozovek – úvod do problematiky [online], Přednáška, dostupné na: <https://www.sdruzeni-silnice.cz> > download
- [5] MALÁ, Markéta, Využití R-materiálu v krytových vrstvách vozovek, Vysoké učení technické, Brno 2016
- [6] WIRTGEN GmbH, Remixer 4500 [online], 2016, dostupné na: [https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o5407v77\\_W\\_brochure\\_Remixer4500\\_0116\\_EN.pdf](https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o5407v77_W_brochure_Remixer4500_0116_EN.pdf)
- [7] TP 209, Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka, Ministerstvo dopravy, Obor silniční infrastruktury, 2009
- [8] VIAFREZ s r.o., Frézování silnic a dálnic [online], 2010-2020, <http://www.viafrez.cz/frezovani-silnic-dalnic.php>
- [9] ATM CZ a.s., Recyklace a frézování vozovek [online], 2014, <http://www.atmcz.cz/recyklace-a-frezovani-vozovek>
- [10] VARAUS, Michal, Asfaltové směsi zpracované za horka, Přednáška 2014
- [11] ASB-portal.cz: Odborný stavební portál, Rekonstrukce vozovek – recyklace za studena [online], 2014, <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrskestavby/doprava/rekonstrukce-vozovek-recyklace-za-studena>
- [12] Stavební stroje AWP s r.o., 2021, <https://www.awpsro.cz/produkt/21>
- [13] VALENTIN, Jan, Recyklace asfaltových vozovek, Přednáška 2012, dostupné na: <https://readgur.com/doc/168845/recyklace-asfaltov%C3%BDchvozovek---katedra-silni%C4%8Dn%C3%ADch-staveb>
- [14] TP 208, Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena, Ministerstvo dopravy, Obor silniční infrastruktury, 2009

- [15] COUFALÍKOVÁ, Iva, Použití R-materiálu do asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový, Vysoké učení technické, Brno 2019
- [16] ČSN 736141, Požadavky na použití R-materiálu do asfaltových směsí, Úřad pro technickou normalizaci, 2021
- [17] Petroleum.cz, Asfaltové silniční výrobky [online], 2007-2021, dostupné na: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/asfalty-silnicni.aspx>
- [18] Silniční modifikované asfalty – stavbaroku.cz > db\_binary\_file > other [doc]
- [19] HÝZL, Petr, Využití R-materiálu v asfaltových směsích, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Brno 2018

## 7. Seznam obrázků

Obr. 1 Silniční fréza Wirtgen 2000/2400 [9] .....	11
Obr. 2 Nomogram pro zjištění maximálně možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi pro asfaltové obrusné a ložní vrstvy [16].....	14
Obr. 3 Lineární a rozvětvená (radiální) forma SBS [15] .....	15
Obr. 4 Zjednodušené zesíťování [15] .....	15
Obr. 5 Obor zrnitosti pro směs ACO 11+ a Fullerova parabola [10].....	16
Obr. 6 Asfaltový beton - zkušební těleso [10].....	17
Obr. 7 Schématické znázornění jednotlivých možností kontaktu zrn kameniva a promísení pojiv při přidávání R-materiálu do asfaltové směsi [19] .....	18
Obrázek 8: Stroje na recyklaci na místě za studena [13].....	19
Obr. 9 Remixer [6].....	20
Obr. 10 Šaržova obalovna s násypkou na dávkování R - materiálu [4].....	22
Obr. 11 Multivariable dosing systém [15].....	23
Obr. 12 Šaržova obalovna s paralelním bubnem [3] .....	23
Obr. 13 Skladování R-materiálu na obalovně - Německo - Bavorsko [3].....	24
Obr. 14 Obalovna asfaltových směsí vybavena paralelním sušícím bubnem - Česká republika - Bruntál [19].....	25
Obr. 15 Kontinuální obalovna Drum - mix [3].....	26
Obr. 16 Schéma kontinuální obalovny se systémem přidávání R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu [19] .....	26
Obr. 17 Schéma kontinuální obalovny se systémem přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu [19].....	27
Obr. 18 Schéma kontinuální obalovny se separátním systémem vysoušení R-materiálu [19].....	27
Obr. 19 Segmentový zhutňovač.....	33
Obr. 20 Rozměry pro zhutněné desky pro následné řezání zkušebních vzorků .....	33
Obr. 21 Řezání diamantovou pilou.....	34
Obr. 22 Nalepený trapezoid.....	35
Obr. 23 Rozprostření lepidla do čelistí pro zkoušku posouzení nízkoteplotních vlastností .....	35
Obr. 24 Zkušební tělesa: komolé klíny (trapezoidy) přilepené k podložkám .....	36
Obr. 25 Měřicí zařízení.....	37
Obr. 26 Předepsané rozměry pro zkušební vzorek pro stanovení modulu tuhosti asfaltových směsí.....	38

Obr. 27 Uchycení vzorku do temperovaného zařízení .....	39
Obr. 28 Zkouška nízkoteplotních vlastností, upevnění vzorku .....	41
Obr. 29 Centrovací rám .....	42
Obr. 30 Rozměry zkušebního tělesa.....	42
Obr. 31 Připravená zkušební tělesa [1].....	43
Obr. 32 Porušený zkušební vzorek v měřícím zařízení .....	44
Obr. 33 Porušený vzorek .....	58

## 8. Seznam grafů

Graf 1: Vývoj objemu výroby asfaltových směsí v ČR od roku 2007 až do roku 2017 [19]	10
Graf 2,3: Objemové hmotnosti asfaltové směsi .....	31
Graf 4: Mezerovitost asf. směsi      Graf 5: Stupeň vyplnění mezer .....	31
Graf 6: Hloubka koleje po 10 000 cyklech.....	32
Graf 7 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 0 % R-materiálu při teplotě 0 °C	45
Graf 8 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 15 % R-materiálu při teplotě 0 °C .....	46
Graf 9 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 30 % R-materiálu při teplotě 0 °C .....	46
Graf 10 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 50 % R-materiálu při teplotě 0 °C .....	47
Graf 11 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 0 % R-materiálu při teplotě 15 °C .....	47
Graf 12 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 15 % R-materiálu při teplotě 15 °C .....	48
Graf 13 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 30 % R-materiálu při teplotě 15 °C .....	48
Graf 14 – Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs s 50 % R-materiálu při teplotě 15 °C .....	49
Graf 15 – Závislost modulů tuhosti na frekvenci a různým podílem R-materiálu při teplotě 0 °C .....	50
Graf 16 – Závislost modulů tuhosti na frekvenci a různým podílem R-materiálu při teplotě 0 °C .....	50
Graf 17 – Závislost síly a teploty tělesa s obsahem R-materiálu 0 % .....	52
Graf 18 – Závislost síly a teploty tělesa s obsahem R-materiálu 15 % .....	53
Graf 19 – Závislost síly a teploty tělesa s obsahem R-materiálu 30 % .....	54
Graf 20 – Závislost síly a teploty tělesa s obsahem R-materiálu 50 % .....	55
Graf 21: Zobrazení teploty vzorku při porušení zkušebního tělesa.....	56
Graf 22: Zobrazení maximální síly porušení vzorku.....	57



## 9. Seznam tabulek

Tabulka 1 – Možnosti přidání upraveného R-materiálu do nově vyráběných směsí [16].	13
Tabulka 2 – Nejvyšší přístupný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi [10].	16
Tabulka 3 – Užití recyklovaných asfaltových vrstev v konstrukci vozovky [7].	21
Tabulka 4: Základní vlastnosti kameniva	29
Tabulka 5: Poměr zrnitosti směsi a obsah rozpustného pojiva	30
Tabulka 6: Parametry navrhované asfaltové směsi	30
Tabulka 7: Hloubka koleje po daném množství cyklů	32
Tabulka 8 – Modul tuhosti s 0 % množství R-materiálu při teplotě 0 °C	45
Tabulka 9 – Modul tuhosti s 15 % množství R-materiálu při teplotě 0 °C	46
Tabulka 10 – Modul tuhosti s 30 % množství R-materiálu při teplotě 0 °C	46
Tabulka 10 – Modul tuhosti s 50 % množství R-materiálu při teplotě 0 °C	47
Tabulka 11 – Modul tuhosti s 0 % množství R-materiálu při teplotě 15 °C	47
Tabulka 12 – Modul tuhosti s 15 % množství R-materiálu při teplotě 15 °C	48
Tabulka 13 – Modul tuhosti s 30 % množství R-materiálu při teplotě 15 °C	48
Tabulka 14 – Modul tuhosti s 50 % množství R-materiálu při teplotě 15 °C	49
Tabulka 15 – Výsledky měření modulu tuhosti s různým podílem R-materiálu při teplotě 0 °C	49
Tabulka 16 – Výsledky měření modulu tuhosti s různým podílem R-materiálu při teplotě 15 °C	50
Tabulka 17 – Výsledné hodnoty zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem	52
Tabulka 18 – Výsledné hodnoty zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem	53
Tabulka 19 – Výsledné hodnoty zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem	54
Tabulka 20 – Výsledné hodnoty zkoušky nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem	55
Tabulka 21 – Srovnání vyhodnocení nízkoteplotních vlastností jednotlivých asfaltových směsí ACO 11+	56

## 10. Seznam použitých zkratek a symbolů

AC	Asfaltový beton
ACL	Asfaltový beton pro ložní vrstvy
ACO	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy
ACP	Asfaltový beton pro podkladní vrstvy
APP	Polypropylen
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
D	Velikost horního síta
dT	Rychlost řízení teploty
$E_1$	Reálná složka
$E_2$	Imaginární složka
EN	Evropská norma
F	Síla
PE	Polyetylen
PKO	Pozemní komunikace
PMB	Polymerem modifikovaný asfalt
RA	Recyklovaný materiál
S	Modul tuhosti
SBS	Styren-butadien-styren
T	Teplota
TP	Technické podmínky
TSRST	Jednoosá zkouška tahem
USA	Spojené státy Americké

$\Phi$	Fázový úhel
$\sigma$	Napětí

## 11. Přílohy

Příloha 1: Rozměry zkušebních těles pro stanovení modulů tuhosti

Příloha 2: Měření modulů tuhosti

Příloha 3: Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Příloha 4: Protokol o zkoušce typu

**Příloha 1: Rozměry zkušebních těles pro stanovení modulů tuhosti**

Obsah R-materiálu	Vzorek	h1 [mm]	h2 [mm]	b [mm]	L [mm]	m [g]
0 %	1	70,5	26,0	50,0	251,1	1447,78
	2	70,6	25,3	50,1	251,3	1465,20
	3	70,1	26,0	50,1	251,2	1459,43
	4	69,9	26,2	50,4	251,6	1465,37
	5	70,2	25,0	50,1	251,3	1466,45
15 %	1	70,6	26,0	51,7	252,1	1458,74
	2	70,9	26,1	51,1	252,1	1477,45
	3	70,1	26,1	51,7	252,3	1469,89
	4	70,4	25,8	51,6	252,2	1473,70
	5	70,8	25,9	51,7	251,7	1468,99
30 %	1	70,0	26,1	50,8	249,8	1435,21
	2	70,2	26,1	50,8	250,8	1469,62
	3	70,3	25,0	50,1	249,8	1439,98
	4	70,4	26,0	50,0	249,9	1467,67
	5	69,8	25,4	50,8	250,0	1445,61
50 %	1	69,5	26,1	50,8	251,1	1454,41
	2	70,1	25,0	50,4	251,2	1451,23
	3	70,3	25,8	50,1	251,7	1466,58
	4	69,8	26,4	50,8	252,1	1470,78
	5	70,2	25,9	50,9	252,2	1476,13

## Příloha 2: Měření modulů tuhosti

Zkušební směs: ACO 11+ s 0 % R-materiálu

Datum měření: 3.12.2020

Zkušební teplota: 0 °C

Vzorek	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1	9616	10106	10218	10433	10397
2	11412	11815	12290	12170	12327
3	11174	11699	11990	12153	12328
4	10739	11176	11516	11760	12047
5	9985	10473	10605	10689	11041

Datum měření: 1.12.2020

Zkušební teplota: 15 °C

Vzorek	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1	7022	7521	7831	8173	8212
2	7100	7850	8142	8540	8560
3	7220	8053	8230	8644	8690
4	7436	8303	8483	8869	8816
5	7050	8081	8381	8873	8882

Zkušební směs: ACO 11+ s 15 % R-materiálu

Datum měření: 3.12.2020

Zkušební teplota: 0 °C

Vzorek	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1	10637	11307	11538	11677	11928
2	10692	11303	11539	11894	12007
3	11021	11751	11992	12339	12467
4	10158	10893	11078	11190	11345
5	10166	10679	10706	11265	11399

Datum měření: 1.12.2020

Zkušební teplota: 15 °C

Vzorek	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1	6800	7706	7978	8341	8244
2	7178	7965	8245	8682	8986
3	7350	8239	8512	8906	9096
4	7424	8151	8377	8699	8844
5	6809	7649	8039	8319	8304

Zkušební směs: ACO 11+ s 30 % R-materiálu

Datum měření: 3.12.2020

Zkušební teplota: 0 °C

Vzorek	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1	11140	11507	11947	12215	12350
2	12259	12672	13222	13396	13525
3	10910	11446	11646	12040	12085
4	11617	12561	12578	12839	13080
5	11867	12506	12789	12989	13441

Datum měření: 1.12.2020

Zkušební teplota: 15 °C

Vzorek	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1	6835	7731	8003	8336	8397
2	7573	8432	8852	9231	9340
3	7140	8107	8747	8788	8891
4	6924	7956	8260	8486	8569
5	7825	8816	9213	9428	9362

Zkušební směs: ACO 11+ s 50 % R-materiálu

Datum měření: 3.12.2020

Zkušební teplota: 0 °C

Vzorek	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1	11840	12243	12363	13235	13373
2	11972	12259	12405	13264	13526
3	12939	13559	13843	14027	14014
4	13723	14456	14310	14450	15276
5	12298	12280	13060	13292	13168

Datum měření: 1.12.2020

Zkušební teplota: 15 °C

Vzorek	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1	8328	8800	9056	9475	9755
2	8420	9028	9368	9659	9751
3	8239	8816	9132	9437	9628
4	8673	9561	10057	10325	10951
5	9046	9435	9735	10177	10532

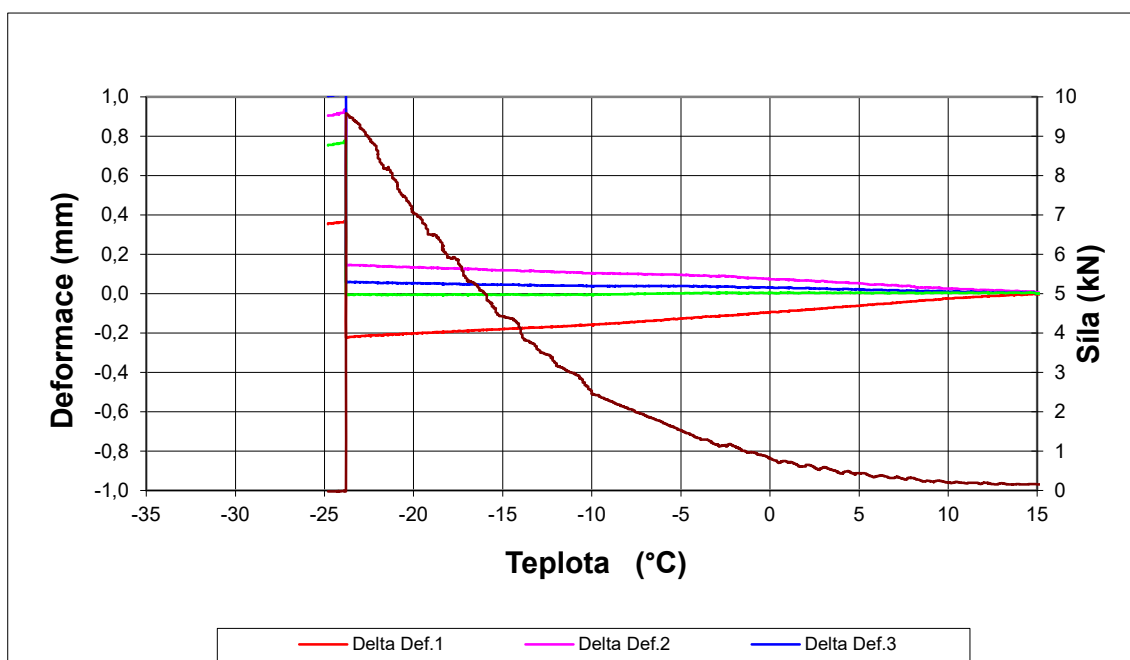


### Příloha 3: Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Zkušební směs: ACO 11+ s 0 % R-materiálu

Datum měření: 2.12.2020

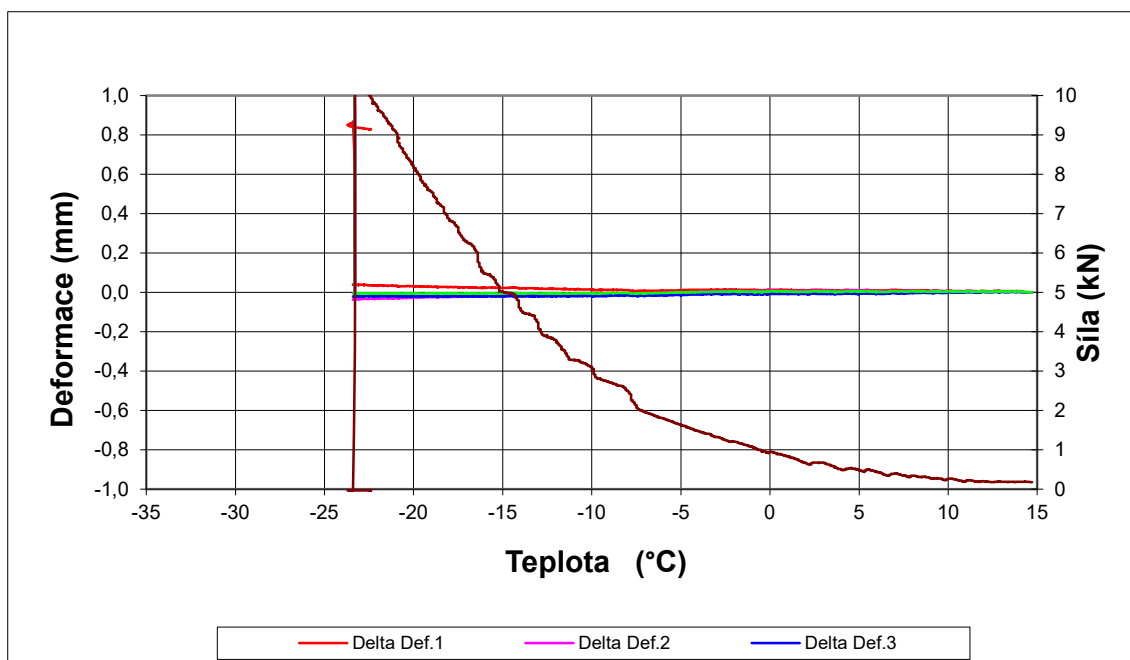
<b>Akce :</b>	ACO 11+ 0 % R-materiálu
<b>Asfaltová směs :</b>	PMB 0 % - 1
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	02.12.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Pavλίna Navrátilová
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	9,58
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	3,83
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-26,6
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-23,8



Zkušební směs: ACO 11+ s 0 % R-materiálu

Datum měření: 3.12.2020

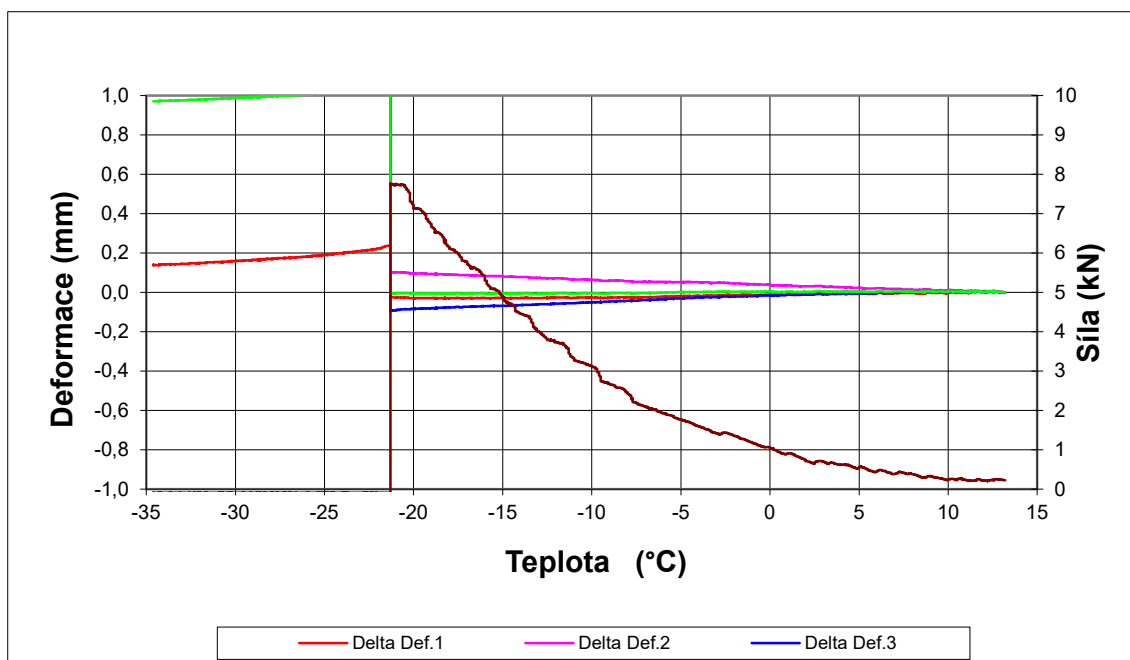
<b>Akce :</b>	ACO 11+ 0 % R-materiálu
<b>Asfaltová směs :</b>	PMB 0 % - 2
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	03.12.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Pavλίna Navrátilová
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	10,75
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,30
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-24,4
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-23,3



Zkušební směs: ACO 11+ s 15 % R-materiálu

Datum měření: 4.12.2020

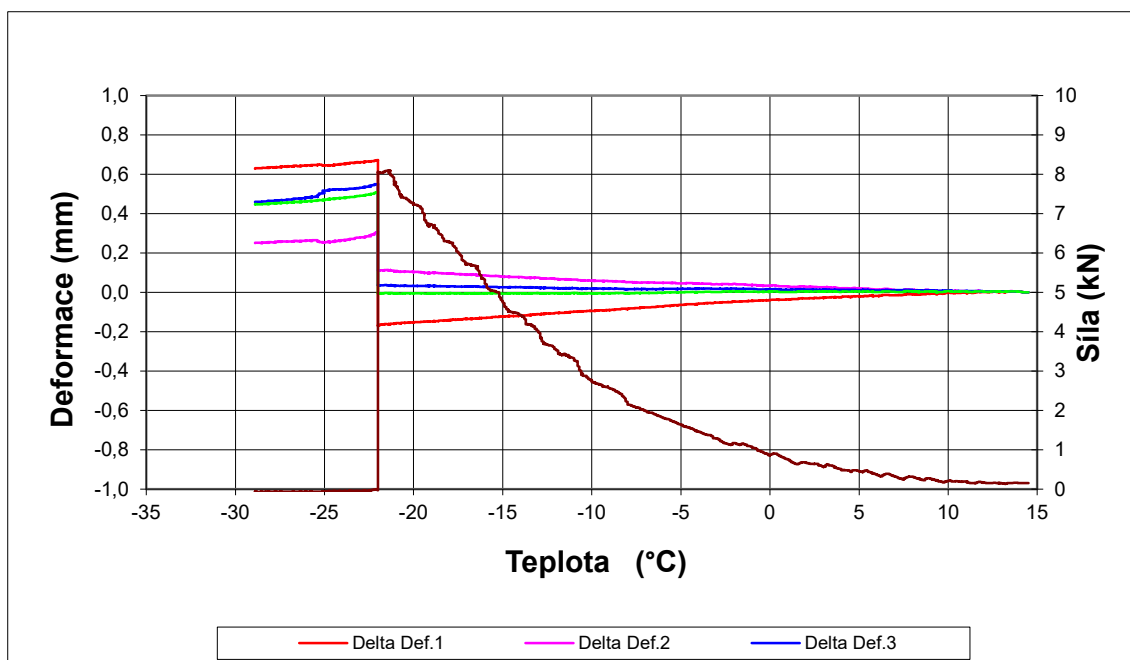
<b>Akce :</b>	ACO 11+ 15 % R-materiálu
<b>Asfaltová směs :</b>	PMB 15 % - 1
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	04.12.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Pavλίna Navrátilová
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	7,76
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	3,11
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-22,8
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-21,3



Zkušební směs: ACO 11+ s 15 % R-materiálu

Datum měření: 8.12.2020

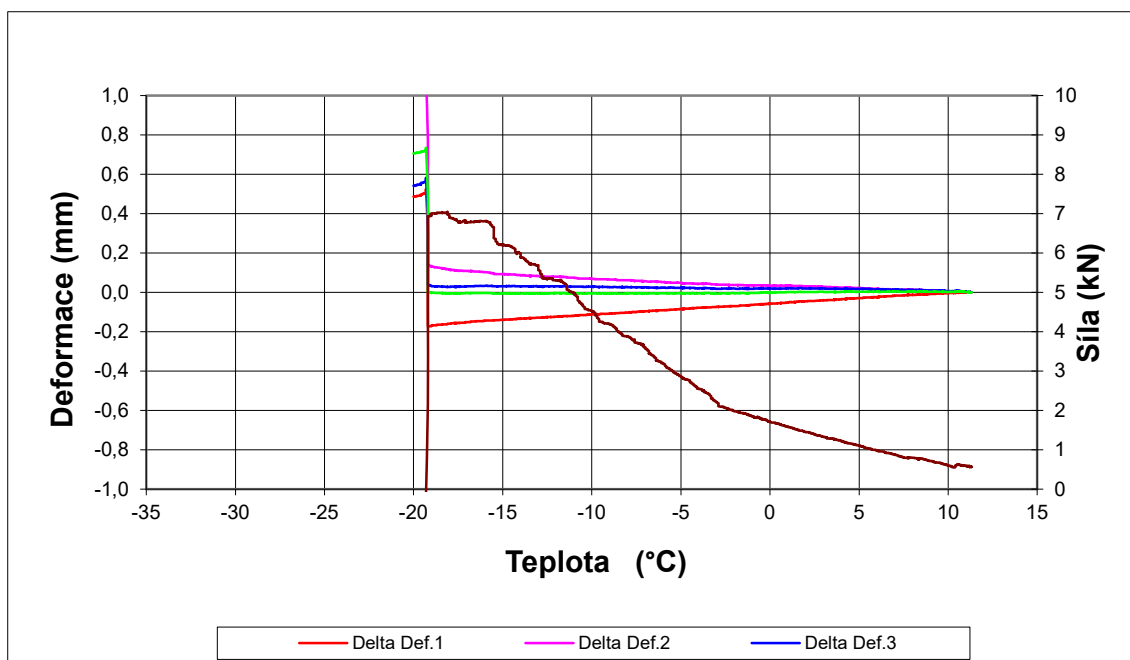
<b>Akce :</b>	ACO 11+ 15 % R-materiálu
<b>Asfaltová směs :</b>	PMB 15 % - 2
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	08.12.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Pavλίna Navrátilová
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	8,10
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	3,24
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-22,8
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-21,4



Zkušební směs: ACO 11+ s 30 % R-materiálu

Datum měření: 9.12.2020

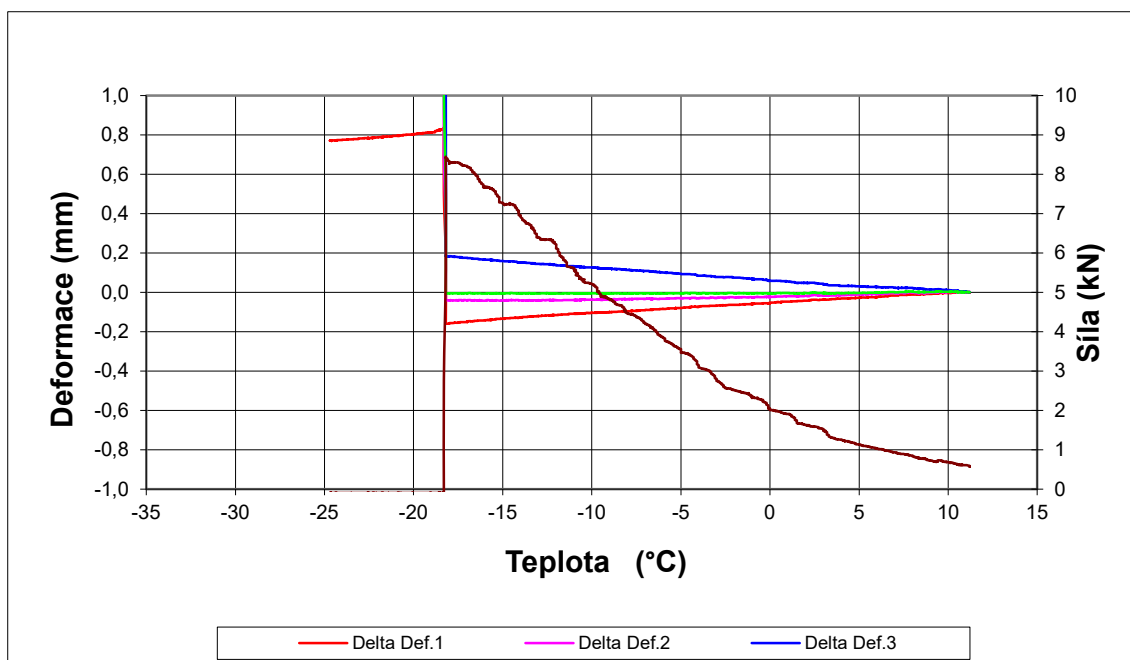
<b>Akce :</b>	ACO 11+ 30 % R-materiálu
<b>Asfaltová směs :</b>	PMB 30 % - 1
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	09.12.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Pavλίna Navrátilová
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	7,05
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	2,82
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-20,0
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-18,1



Zkušební směs: ACO 11+ s 30 % R-materiálu

Datum měření: 11.12.2020

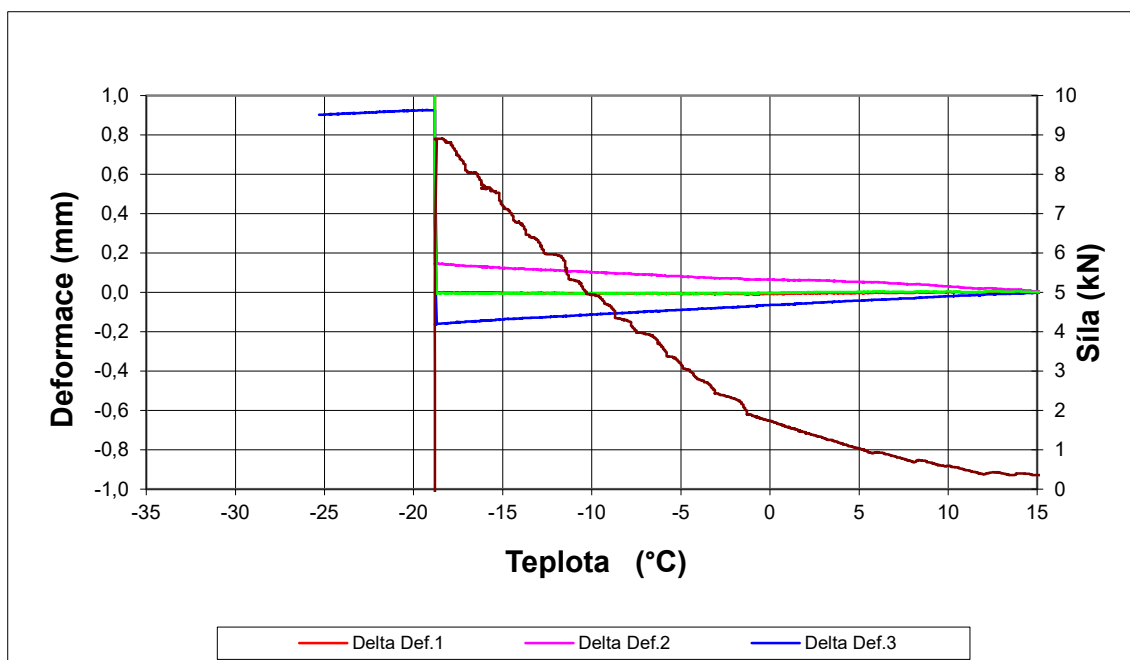
<b>Akce :</b>	ACO 11+ 30 % R-materiálu
<b>Asfaltová směs :</b>	PMB 30 % - 3
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	11.12.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Pavλίna Navrátilová
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	8,45
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	3,38
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-21,7
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-18,2



Zkušební směs: ACO 11+ s 30 % R-materiálu

Datum měření: 16.12.2020

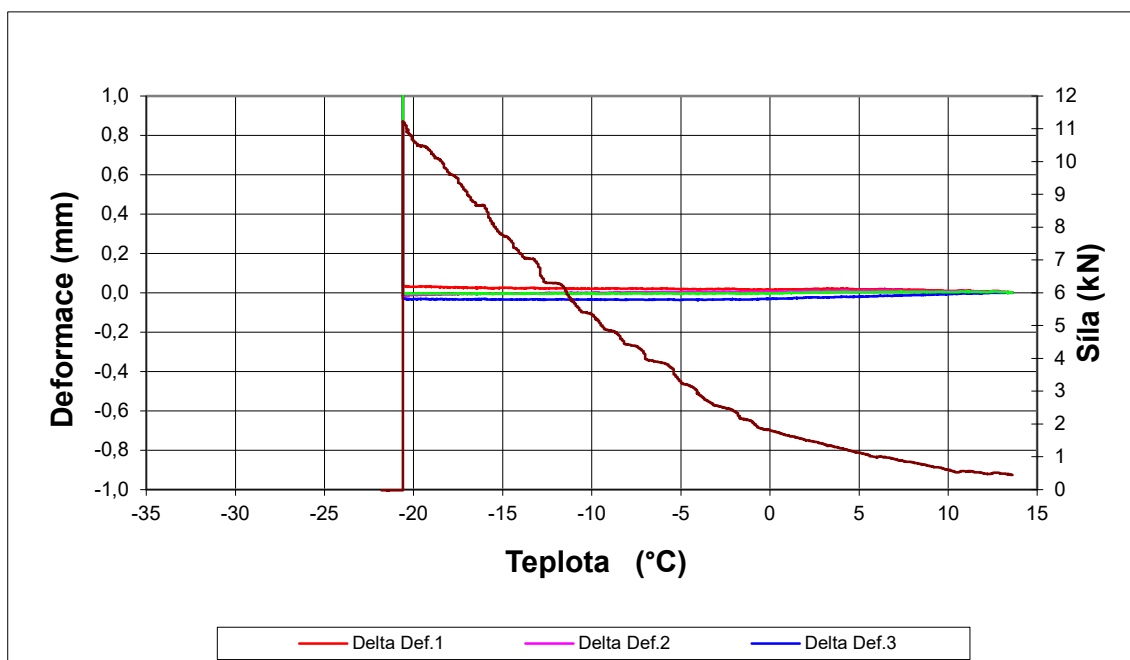
<b>Akce :</b>	ACO 11+ 50 % R-materiálu
<b>Asfaltová směs :</b>	PMB 50 % - 1
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	16.12.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Pavína Navrátilová
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	8,91
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	3,56
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-21,7
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-18,5



Zkušební směs: ACO 11+ s 30 % R-materiálu

Datum měření: 17.12.2020

<b>Akce :</b>	ACO 11+ 50 % R-materiálu
<b>Asfaltová směs :</b>	PMB 50 % - 2
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	17.12.2020
<b>Zkoušku provedl :</b>	Pavína Navrátilová
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	11,22
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	4,49
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-23,4
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-20,6





Příloha 4: Protokol o zkoušce typu



Laboratoř Brant  
Lubná 125, 270 35 Petrovice

laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153  
(tel. 608 77 25 67, e-mail: radek.pazyna@fronek.cz)

Objednatel:	Froněk, spol. s r.o. Zátíší 2488, 269 01 Rakovník
-------------	---

# ACO 11 S PMB 45/80-65 asf. směs pro obrusné vrstvy

dle ČSN EN 13108 - 1 pro třídu dopravního zatížení I, II a S

ZKOUŠKA TYPU  
**F007/2018/BR**

DLE ČSN EN 13108-20 (ověření ve výrobě)

 **Froněk**  
Froněk, spol. s r.o., Laboratoř Brant  
Lubná 125, CZ 270 35 Petrovice  
laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153



31.01.2018  
Brant

Radek Pazyna  
vedoucí laboratoře

<b>POČÁTEČNÍ ZKOUŠKA TYPU (ITT):</b>	<b>ACO 11 S</b>	<b>F007/2018/BR</b>
--------------------------------------	-----------------	---------------------

<b>VÝROBCE ASFALTOVÉ SMĚSI:</b>	<b>Froněk, spol. s r.o.</b> Zátiší 2488 269 01 Rakovník
---------------------------------	---

<b>OBALOVNA:</b>	<b>Benninghoven TBA 160-240 UC</b> Lubná 125 270 35 p. Petrovice
------------------	--

**ZKUŠEBNÍ POSTUPY A PŘEDPISY:**

ČSN EN 13 108-1	Asfaltové směsi - specifikace pro materiály - asfaltový beton
ČSN EN 13 108-20	Asfaltové směsi - specifikace pro materiály - zkoušky typu
ČSN EN 12 697-1	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - obsah rozpustného pojiva
ČSN EN 13 697-2	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - zrnitost
ČSN EN 13 697-5	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - stanovení maximální objemové hmotnosti
ČSN EN 13 697-6	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - stanovení objemové hmotnosti asf. zkušebního tělesa
ČSN EN 13 697-8	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - stanovení mezerovitosti asfaltových směsí
ČSN EN 13 697-12	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě
ČSN EN 13 697-22	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - zkouška poježdění kolem
ČSN EN 13 697-30	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - příprava zkušebních těles rázovým zhušťovačem
ČSN EN 13 697-33	Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - příprava zkušebních těles zhušťovačem desek
ČSN EN 1427	Asfaly a asfaltové pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička
ČSN EN 1426	Asfaly a asfaltové pojiva - Stanovení penetrace jehlou
ČSN 72 6121	Hutné asfaltové vrstvy
ČSN 72 6160	Zkoušení asfaltových směsí

## ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KAMENIVA:

Kamenivo typ zkoušky	-	HDK 8/11 Sýkořice	HDK 4/8 Sýkořice	HDK 2/5 Sýkořice	DOK 0/2 Sýkořice	JMV Velká Hvozdice	R-mat
Zrnitost kameniva propad sítím v %	22,4						-
	16	100					
	11	87,4	100				
	8	13,5	92,7	100			
	5		39,9	90,5			
	4	0,9	12,7	40,0	100		
	2		1,3	13,0	94,0	100	
	1			1,4	54,1		
	0,5				32,4		
	0,25				21,1		
	0,125				14,5	88,5	
	0,063	0,6	0,8	0,9	9,5	72,2	
Zrnitost DK (D <= 2) G <sub>2</sub> v %					54,1		
Zrnitost SK (D <= 5, D=0) G <sub>5</sub> v %							
Tolerance zrnitosti DK a SK (D <= 8) G <sub>8</sub> v %					10,0		
Kvalita jemných částic MB v g bar./1kg 0/2							
Zrnitost HK (D < 2) G <sub>2</sub> v %		87,4/13,5	92,7/12,7	90,5/13,0			
Tolerance zrnitosti G		25,0/15,0	25,0/15,0	25,0/15,0			
Tvarový index SI v %		18,0	19,0	19,0			
Odolnost proti drobení LA v %							
Delta kroužek kulíčka							
Obsah vody w v %							
Objemová hmotnost kameniva							

## DOPLŇUJÍCÍ VLASTNOSTI KAMENIVA DEKLAROVANÉ VÝROBCEM:

Kamenivo typ zkoušky	-	HDK 8/11 Sýkořice	HDK 4/8 Sýkořice	HDK 2/5 Sýkořice	DOK 0/2 Sýkořice	JMV Velká Hvozdice	R-mat
Zrnitost DK (D <= 2) G <sub>2</sub> v %		G <sub>2</sub> 90/15	G <sub>2</sub> 90/15	G <sub>2</sub> 90/15	G <sub>2</sub> 85	-	-
Zrnitost SK (D <= 5, D=0) G <sub>5</sub> v %							
Kvalita jemných částic MB v g bar./1kg 0/2					MB <sub>2</sub> 10		
Zrnitost HK (D < 2) G <sub>2</sub> v %		SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>	SI <sub>20</sub>			
Tvarový index SI v %		LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>	LA <sub>15</sub>			
Odolnost proti drobení LA v %		PSV <sub>50</sub>	PSV <sub>50</sub>	PSV <sub>50</sub>			
Ohraditelnost kameniva PŠV							
Nasákavost WA <sub>24</sub> v %					WA <sub>24</sub> 2		
Trvanlivost MgSO <sub>4</sub> MS v % zhráty hmotnosti							
Odolnost proti zmrazování rozmr. F v % z.h.		F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>			
Mh. obsah uhlíkatý CC v % hmotnosti							
Objemová hmotnost kameniva		2,883	2,889	2,891	2,912		

## R-materiál:

Zrnitost	-
Obsah asfaltu v %	-
Bod měknutí	-

## Přísady:

Název	Množství
-	-

**PROTOKOL O ZKOUŠCE ASFALTOVÉ SMĚSI**

**ACO 11 S**  
45/80-65

číslo:  
**565**

**OBJEDNATEL: Froněk spol. s r.o. Zátíší 2488, 269 01 Rakovník**

DATUM ODBĚRU VZORKU <b>12.12.2017</b>	DATUM PŘEVZETÍ VZORKU <b>12.12.2017</b>	ZÁZNAM O ODBĚRU VZORKU ANO	Jiné údaje ze záznamu o odběru vzorku
VZOREK ODEBRAL Bohuslava Pelcová	ODBĚR NA: <b>OBALOVNĚ</b>	ČAS ODBĚRU 7:30	Vzorek odebrán dle ČSN EN 12697-27 z nákladního auta
		SPZ VOZIDLA 1SP 0207	
		TEPLOTA PŘI ODBĚRU <b>175°C</b>	

POČÁTEČNÍ ZKOUŠKY TYPU (ITT) č.:

OBALOVNA **obalovna BRANT-Benninhoven 160**

lab. číslo vz.: **565**

stavba

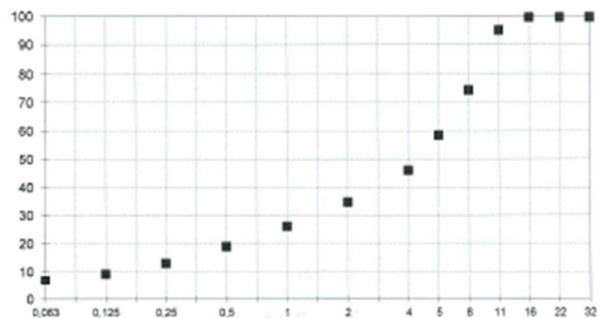
ITT

objekt

Rázový zhutňovač s dřevěným blokem, EN 12697-30	Zrnitost vz. EN 12697-2	ITT číslo	Meze odchylek od ITT dle ČSN EN 13108-21, čl. A.3.2	Vyhodnoc. odchylek
Obsah rozpust. pojiva B [%], EN 12697-1	<b>5,49</b>	SÍTO 32	<b>100,0</b>	
Obsah rozpust. pojiva Bvol [% obj.]	13,3	22	<b>100,0</b>	
Přidávané pojivo [%], ČSN 73 6121, C.7.1	5,64	16	<b>100,0</b>	
Teplota hutnění	<b>150°C</b>	11	<b>95,4</b>	
Počet rázů	2 x 75	8	<b>74,7</b>	
Metoda výroby směsi	ODBĚR	5	<b>58,9</b>	
OH zk. těles [Mg/m <sup>3</sup> ], EN 12697-6, met. B	2,472	4	<b>46,4</b>	
Max.OH [Mg/m <sup>3</sup> ], EN 12697-5, postup A (voda)	2,555	2	<b>35,1</b>	
Zkušební teplota vody pro Max.OH	25°C	1	<b>26,5</b>	
Mezerovitost Vm [%], EN 12697-8	<b>3,2</b>	0,5	<b>19,4</b>	
St. vyplnění mezer VFB [%], EN 12697-8	80,4	0,25	<b>13,4</b>	
Mazer. směsi kam. VMA [%], EN 12697-8	16,6	0,125	<b>9,6</b>	
		0,063	<b>7,2</b>	
	Rozp. pojivo	<b>5,49</b>		

ZRNITOST ZKOUŠENÉ SMĚSI - POROVNÁNÍ S POVOLENÝMI ODCHYLKAMI

Odoln. vůči vodě ITR [%], EN 12697-12 **85**



Poznámka: Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušeného vzorku. Protokol smí být reprodukován pouze jako celek, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

datum:  
převzal:

12.12.2017 zkoušku provedl: Bohuslava Pelcová  
12.12.2017 protokol vyhotovil: Radek Pazyna



Froněk, spol. s r.o., Laboratoř Brant  
Lubná 125, CZ 270 35 Petrovice  
laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153

*Radek Pazyna*  
Radek Pazyna  
vedoucí laboratoře

protokol schválil:

**POČÁTEČNÍ ZKOUŠKA TYPU (ITT):****ACO 11 S****F007/2018/BR**

Asfaltová směs typu ACO 11 S 45/80-65 dle ČSN EN 13108-1 a ČSN 13108-20, určená pro obrusné vrstvy vozovek třídy dopravního zatížení I, II a S. Stavební směs se klade v tloušťce 35 - 50 mm po ztuhnutí.

**SLOŽENÍ SMĚSI KAMENIVA**

Druh	Hmotnostní podíl	Lokalita
HDK 8/11	28 %	Sýkořice
HDK 4/8	18 %	Sýkořice
HDK 2/5	20 %	Sýkořice
DDK 0/2	32 %	Sýkořice
JMV	2 %	v.Hydčice
CELKEM:	100 %	

Hmotnost asfaltu:	5,49 %	PMB 45/80-65
-------------------	--------	--------------

**NÁVRHOVÉ VÝSTUPNÍ SLOŽENÍ**

SÍTO	ITT složení směsi	ČSN EN 13108 - 1	
		min.	max.
32	100,0		
22	100,0		
16	100,0	100,0	100,0
11	95,4	90,0	100,0
8	74,7	68,0	80,0
5	58,9		
4	46,4	40,0	56,0
2	35,1	29,0	42,0
1	26,5		
0,5	19,4		
0,25	13,4		
0,125	9,6	6,0	13,0
0,063	7,2	5,0	10,0

**POUŽITÉ ASFALTOVÉ POJIVO:**

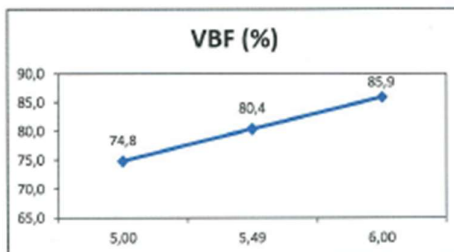
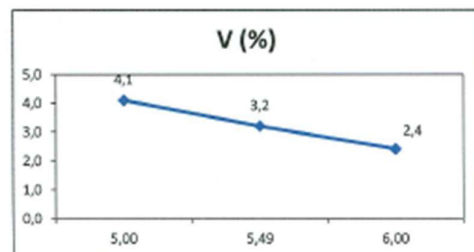
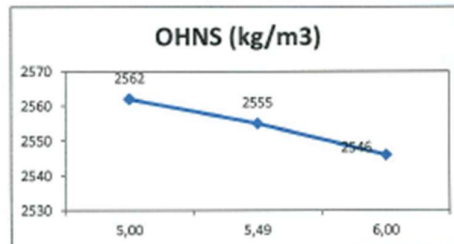
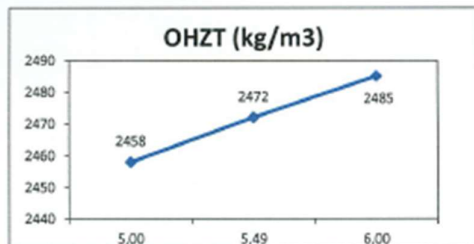
VÝROBCE	Colas	DRUH	COLFLEX PMB 45/80-65
		Penetrace při 25 °C [1x10 <sup>-1</sup> mm]	54,0
		Bod měknutí K&K [°C]	75,9
		Duktilita při 25 °C [cm]	-
		Přilnavost asfaltu ke kamenivu	výborná

**PARAMETRY NAVRHOVANÉ ASFALTOVÉ SMĚSI: (ověření v laboratoři)**

B <sub>min</sub>	B <sub>vel</sub>	OHZT	OHNS	V	VMA	VBF	ITSR	PRD <sub>air</sub>	WTS <sub>air</sub>
(%)	(v % obj.)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm/10 <sup>3</sup> )
5,00	12,1	2458	2562	4,1	16,1	74,8	-	-	-
<b>5,49</b>	<b>13,3</b>	<b>2472</b>	<b>2555</b>	<b>3,2</b>	<b>16,6</b>	<b>80,4</b>	<b>85</b>	<b>3,4</b>	<b>0,042</b>
6,00	14,5	2485	2546	2,4	17,0	85,9	-	-	-
HODNOTY POŽADOVANÉ ČSN EN 13108-1									
min.5.4(dop.)	min.12,5	-	-	2,5-4,0	-	-	min. 80	5,0	0,07

**OPTIMÁLNÍ OBSAH POJIVA:****5,49%**

## GRAFICKÉ VYJÁDRĚNÍ PARAMETRŮ NAVRHOVANÉ ASFALTOVÉ SMĚSI



## VYSVĚTLIVKY:

<b>B<sub>min</sub></b>	(%)	obsah rozpustného pojiva
<b>B<sub>vol</sub></b>	(v % obj.)	obsah rozpustného pojiva
<b>OHZT</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	objemová hmotnost ztuhlé asfaltové směsi
<b>OHNS</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	maximální objemová hmotnost neztuhlé asfaltové směsi
<b>V</b>	(%)	mezerovitost asfaltové směsi
<b>VMA</b>	(%)	stupeň mezerovitosti kameniva
<b>VBF</b>	(%)	stupeň vyplnění mezer
<b>ITSR</b>	(%)	poměr pevnosti v příčném tahu
<b>PRD<sub>air</sub></b>	(%)	poměrná hloubka koleje po 5000cyklech
<b>WTS<sub>air</sub></b>	(mm/10 <sup>3</sup> )	přírůstek hloubky koleje

# ACO 11 S PMB 45/80-65

asf. směs pro obrusné vrstvy  
asfalt COLFLEX PMB 45/80-65

ZKOUŠKA TYPU  
F007/2018/BR

VÝROBNÍ PŘEDPIS PRO OBALOVNU Benninghoven 160

číslo: F007/2018/BR

## PŘEDDÁVKOVÁNÍ

HDK 8/11	28%	Sýkořice
HDK 4/8	22%	Sýkořice
HDK 2/5	18%	Sýkořice
DDK 0/2	32%	Sýkořice

CELKEM: 100%

## FRAKCE - HORKÉ TŘÍDĚNÍ

	čistá frakce:	doporučené navážky z horkých násypok:	
11/16			kg
8/11		272,6	kg
5/8		154	kg
2/5		116	kg
0/2		331	kg
JMV		20	kg
Vrat. filer		50	kg
ASFALT		56,4	kg
<b>CELKEM:</b>			1000 kg

Tato asfaltová směs typu ACO 11 S PMB 45/80-65 dle ČSN EN 13108-1 a ČSN EN 13108-20 určena pro obrusné vrstvy vozovek třídy dopravního zatížení I, II a S.

Dávkování se kontroluje a koriguje na základě výsledků kontrolních zkoušek směsi.

### Pracovní teploty (°C):

mezní teploty asfaltové směsi při výrobě 140 - 180  
teplota směsi za rozdělovačím šnekem finišeru: min. 140

### Povolené tolerance výrobního předpisu:

asfalt: 5,2 - 5,8 %  
filer: vratný filer je možno dávkovat v množství max. 85 kg na záměs 1.000 kg

31.01.2018

Vypracoval:

Radek Pazyna

Protokol č. **018/2018**  
**o zkoušce pojíždění kolem - malé zkušební zařízení**

Jméno a adresa zákazníka: Froněk, spol. s r.o.  
269 01 Rakovník, Zátíší 2488

Vzorek č.	565	Datum dodání:	12.12.2017
Dodavatel/obalovna:		obalovna Brant	
Stavba			
Druh směsi:	ACO 11 S	Datum výroby:	12.12.2017
Druh asfaltu:	COLFLEX PMB 45/80-65	Množství asfaltu ve směsi:	
Přísady (adheziva):	Wetfix		5,49%
Druh kameniva - frakce - lokalita:		Sýkořice	
Datum výroby těles:	29.01.2018		
Datum zkoušení těles:	31.01.2018	Stáří zkušebních těles:	2
Počet zkušebních těles ze zkoušené sady	2	Zkoušku provedl:	Radek Pazyna
Zkouška provedena podle:		ČSN EN 12697-22 postup B na vzduchu	

Poznámka:

Příprava zkušebních těles podle:	ČSN EN 12 697-33, čl. 5.3
Směs podruhé ohřívána:	ano
Způsob hutnění podle:	ČSN EN 12 697-33, čl. 7.3
Teplota hutnění:	150°C
Hmotnost zkušebního tělesa:	8,231 Kg
Rozměry formy L x l :	320x260 mm
Jmenovitá tloušťka zkušebního tělesa:	40 mm
Průměrná skutečná tloušťka zkušebního tělesa:	h1 40,2 mm h2 40,3 mm
Objemová hmotnost (stanovená podle ČSN EN 12697-6, postup D):	2458 Kg/m <sup>3</sup>

Tučně vytištěné hodnoty byly naměřeny nebo použity



### Výsledky zkoušek

Nárůst hloubky vyjeté kolej WTSAir	mm	<b>0,042</b>
Poměrná hloubka vyjeté koleje PRD Air 5 000	%	<b>3,4</b>

Poznámka:

Výsledek zkoušky platí pouze pro zkoušený vzorek.

Prohlášení:

Protokol č.018/2018 smí být reprodukován pouze jako celek.

Protokol vyhotovil: Radek Pazyna  
Protokol schválil: Radek Pazyna

 **Froněk**  
Froněk, spol. s r.o., Laboratoř Brant  
Lubná 125, CZ 270 35 Petrovice  
laboratoř s odbornou způsobilostí č. 153

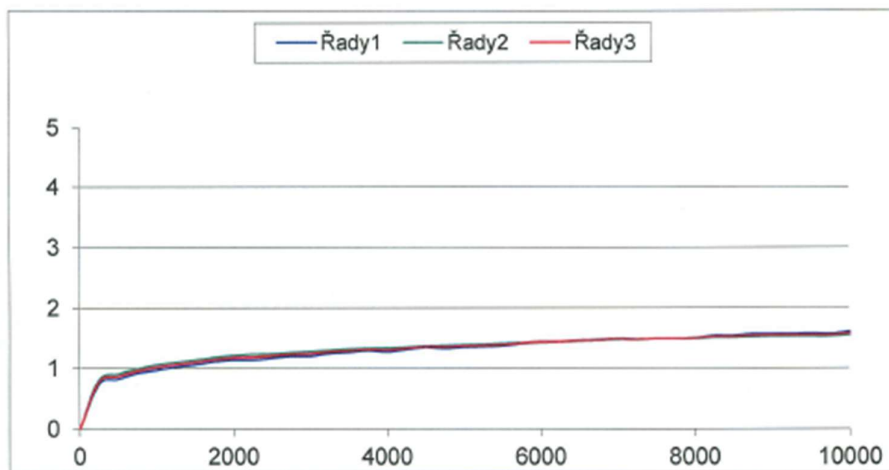
podpis  
podpis



Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím  
provedeno dle ČSN EN 12697-22

### Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	Froněk, spol. s r.o.	druh směsi	ACO 11 S
výrobce	Froněk, spol. s r.o.	druh pojiva	COLFLEX PMB 45/80-65
číslo objednávky:	-	MZ vzorku č.1	99,4 %
datum výroby vzorku	29.01.18	MZ vzorku č.2	99,5 %
datum zkoušky	31.01.18	tloušťka desky 1	40,2 mm
teplota přípravy těles	150 °C	tloušťka desky 2	40,3 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	40,25 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,35	1,61	0,26
2	1,39	1,55	0,16
<b>průměr</b>	<b>1,37</b>	<b>1,58</b>	<b>0,21</b>
přírůstek hloubky koleje WTS <sub>AIR</sub>	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$		5
			0,042 mm
	PRD <sub>AIR</sub>		3,4 %

zkoušel: